

Д.Н. БИРЮКОВ, А.Г. ЛОМАКО, Т.Р. САБИРОВ  
**АБДУКТИВНЫЙ СИНТЕЗ СТРУКТУР ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТИПОВ  
СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ АНАЛОГИЙ В МНОГОМОДЕЛЬНОЙ  
КОНЦЕПТУАЛЬНО-ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЗНАНИЙ**

---

*Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Сабиров Т.Р.* **Абдуктивный синтез структур функциональных типов сценариев для установления аналогий в многомодельной концептуально-онтологической системе знаний.**

**Аннотация.** В статье предложено наделять интеллектуальную систему способностью к абдуктивному порождению новых знаний, основанному на выводах по аналогии. Обладая указанной способностью, она сможет обучаться на прецедентах, имеющих место в различных проблемных областях, перенося знания о явлениях, наблюдаемых в одной проблемной области, в другую. При этом важным является тот факт, что, исходя из решаемой задачи, установление аналогий может осуществляться путем нахождения подобных структур, инвариантных свойств и близких действий, описанных в многомодельной концептуально-онтологической системе знаний. Установление семантического подобия наблюдаемых и формируемых интеллектуальной системой спецификаций базируется на возможности гиромата в общем случае осуществлять переход от аппроксимирующих концептов, принадлежащих одной проблемной области (контексту), через аппроксимируемые (более общие, абстрактные) к аппроксимирующим, но принадлежащим другой проблемной области (контексту).

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, гиромат, онтология, абдукция, аналогия, семантическая близость.

---

**1. Введение.** Чтобы обеспечить возможность синтеза гироматом [1-3] сценариев упреждающего поведения в конфликте [1], может оказаться весьма полезным механизм абдуктивного порождения новых знаний, основанный на выводах по аналогии (для обнаружения потенциально возможных «Задач» и ассоциированных с ними структур «Решений») [1]. Для реализации указанного механизма интеллектуальная система (ИС) должна обладать способностью накапливать опыт, полученный в ходе наблюдения за имевшими место успешными процессами противодействия, и рекомендовать сценарии предотвращения возможных негативных последствий, устанавливая аналогичность наблюдаемых явлений и имеющих решения. Установление правдоподобных аналогий как отдельных явлений, наблюдаемых в ходе конфликта, так и фрагментов специфицированных процессов предлагается осуществлять в ходе абдуктивного синтеза, способностью к проведению которого должен обладать «Синтезатор» [1, 4, 5] интеллектуальной системы (рисунок 1). Сам же «Синтезатор» работает со знаниями, представленными в виде онтологии, построенной с учетом требований, изложенных в работе [6].

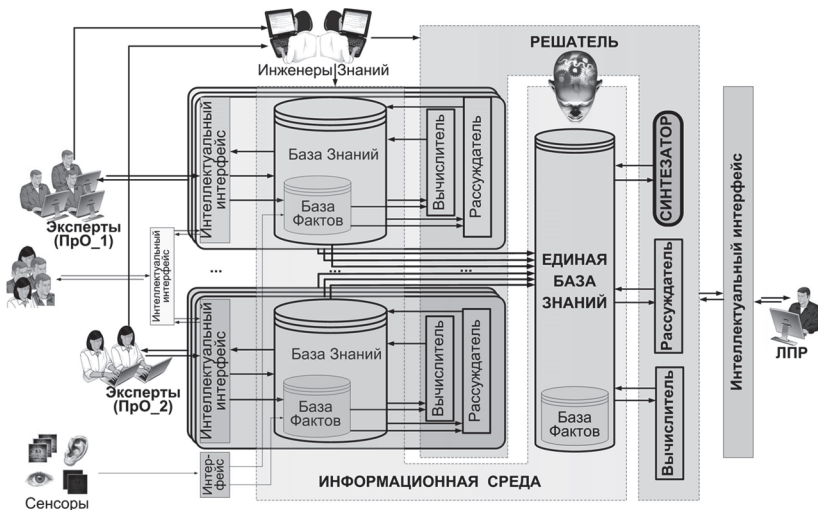


Рис. 1. Принципиальная схема ИС, участвующей в поддержке принятия решений

**2. Синтез спецификаций структур процессов путем абдуктивного вывода с установлением аналогии с ранее промоделированными процессами.** Предлагаемый метод абдуктивного синтеза функциональных типов сценариев в многомодельной пополняемой системе знаний состоит из одного подготовительного (нулевого) и пяти (1-5) основных этапов (рисунок 2).

Основными мероприятиями подготовительного этапа является сбор информации по результатам наблюдений и пополнение проблемного комплекса, содержащего знания из рассматриваемых предметных областей и описания решаемых ИС задач. На выходе подготовительного этапа должна быть сформирована «Задача», требующая решения. Чем полнее и точнее сформулирована «Задача», тем потенциально более точно «Решение», ассоциируемое по структуре, сможет получить гиromат [1]. Задача же в памяти гиromата в конечном итоге представляется в виде определенного фрагмента онтологии [6]. Чем больше концептов привлекается для описания «Задачи», тем большее количество разнотипных концептов будет «вспомнено» гиromатом в процессе поиска формы ее «Решений». В работах по психологии мышления отмечается, что способы решения (интеллектуальные операции) вытекают непосредственно из структуры общей задачи (абстрагируются из ее содержания).

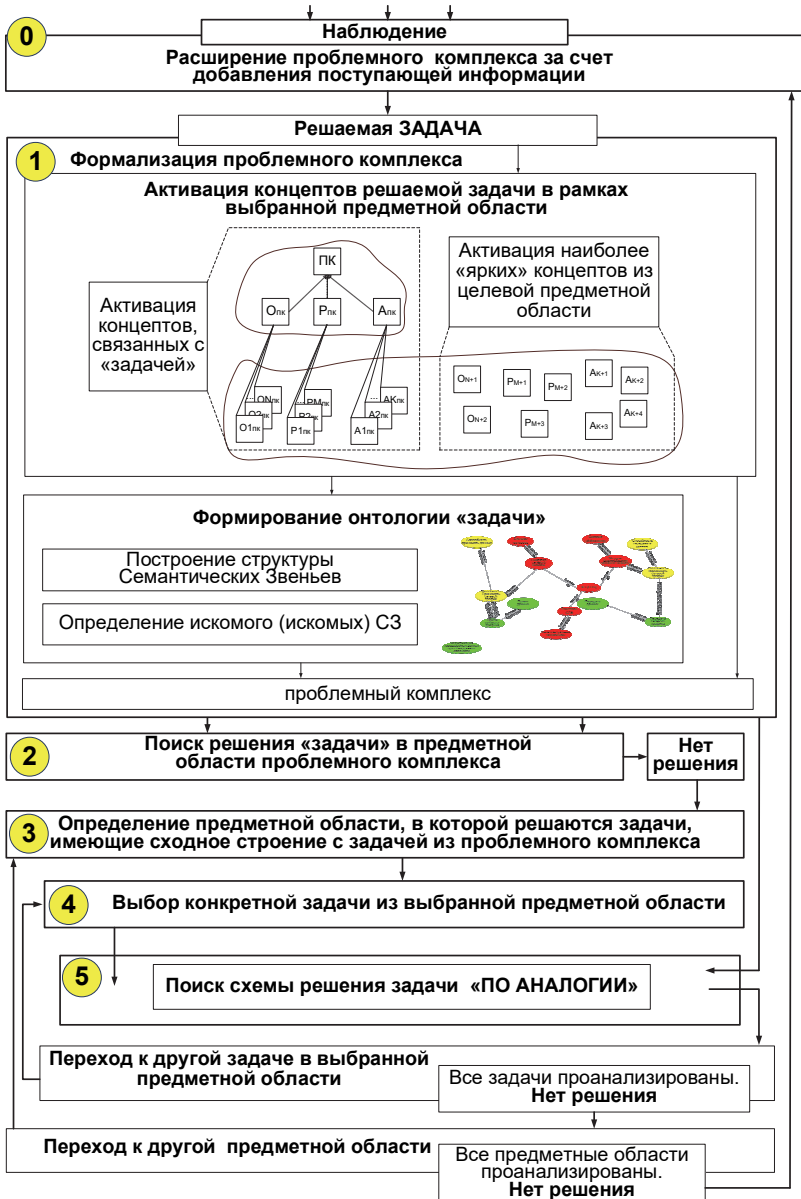


Рис. 2. Схема метода абдуктивного синтеза структур функциональных типов сценариев в многомодельной пополняемой системе знаний

В ходе выполнения основных этапов метода осуществляется поиск «Решений» выявленной «Задачи» посредством установления аналогии.

На первом этапе производится формализация проблемного комплекса. При этом в проблемный комплекс помещаются не только данные, полученные по результатам наблюдения, но и основные (наиболее доступные/«яркие») знания из той проблемной области, к которой относится «Задача». В итоге проблемный комплекс представляется в виде фрагмента онтологии, состоящего из совокупности взаимосвязанных «Семантических Звеньев» (СЗ — два концепта, связанных ролью), типы которых приведены в работе [6]. Понятие «Семантическое Звено» введено для ограничения понятия «RDF-триплет», поскольку СЗ формируются из ограниченного перечня типов концептов и типов ролей [6]. Так, все концепты, представленные в онтологии, должны быть частично упорядочены отношением аппроксимации [6] и принадлежать одному из множеств {«Объекты» — «О», «Свойства» — «Р», «Действия» — «А»}. Описание используемых для формирования СЗ ролей приведено в таблице 1.

Таблица 1. Основные типы семантических звеньев для онтологий произвольных предметных областей

Обозначение СЗ	Описание СЗ
$F1: [P \rightarrow P]$	Свойство аппроксимирует Свойство
$F1_2: [O \rightarrow O]$	Объект аппроксимирует Объект
$F1_3: [A \rightarrow A]$	Действие аппроксимирует Действие
$F2: [O \rightarrow P]$	Объект обладает Свойством
$F3: [P \rightarrow A]$	Свойство порождает способность к Действию
$F4: [A \rightarrow P]$	Действие пригодно для воздействия на Свойство
$F5: [A \rightarrow A]$	Действие следует за Действием
$F6: [O \rightarrow O]$	Объект состоит из Объекта
$F7: [A \rightarrow A]$	Действие состоит из Действия
$F8: [O \rightarrow O]$	Объект Производит Объект

Далее по возможности осуществляется пополнение онтологии согласно подходу, основанному на положениях, изложенных в работах [6, 7], и заключающемся в порождении новых знаний (как новых ролей, так и новых концептов) и встраивании их в уже имеющуюся онтологию.

На втором этапе осуществляется поиск решения «Задачи» в рамках рассматриваемого проблемного комплекса. Если интеллектуальная система ранее уже встречалась с подобной «Задачей»

и находила ее «Решение», то это «Решение» находится в памяти гиромата. При его отсутствии уточняются контекстные условия существования «Задачи» и изменяется фрагмент онтологии, отражающий проблемный комплекс.

Далее выполняется обход по «Задачам» в уточненном проблемном комплексе, где потенциально могут быть правдоподобные (близкие по структуре) аналогичные «Задачи» и ассоциированные с ними «Решения».

Затем осуществляется поиск «Решения» «Задачи» на уровне аппроксимируемых объектов, то есть осуществляется поиск потенциального «Решения» в типах (пример перехода от аппроксимирующих концептов к аппроксимируемым приведен на рисунке 3).

И, наконец, осуществляется нисходящее распределение ассоциативного сигнала от аппроксимируемых концептов к аппроксимирующим концептам [6], но находящимся в проблемной области решаемой «Задачи».

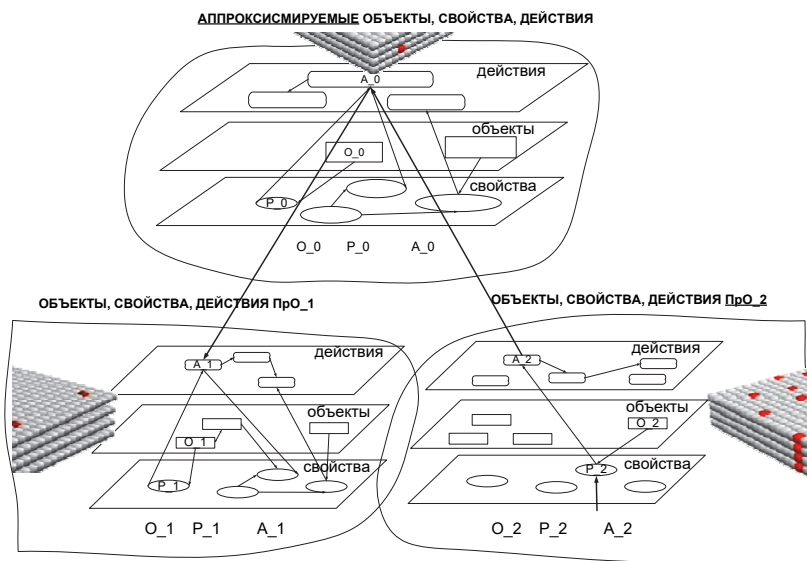


Рис. 3. Пример перехода от аппроксимирующих концептов к аппроксимируемым

Решение может отсутствовать и может быть неединственным. Если конкретное «Решение» в проблемной области «Задачи» отсутствует, то предлагается спецификация порожденного процесса в

терминах аппроксимируемых концептов, что даст возможность в дальнейшем производить уточнение полученного «Решения».

На заключительном этапе порождаются потенциальные «Решения», найденные в ходе распространения ассоциативных сигналов по ассоциативной ресурсной сети [8, 9].

Ассоциативная ресурсная сеть представляется ориентированным графом с переменной топологией [8]. Вершины соответствуют рассматриваемым сущностям, ребра — ассоциативным связям между ними. Предложенная модель хорошо согласуется с онтологической моделью представления знаний.

Каждая сущность, представленная в ассоциативной ресурсной сети, обладает яркостью. Чем больше яркость вершины, тем она «виднее» — доступнее при поиске. Ребра обладают ограниченными пропускными способностями. Чем чаще две вершины участвуют в запросе совместно, тем больше пропускная способность связывающих их ребер. Чем больше пропускная способность ребра между двумя вершинами, тем больше сила ассоциации между соответствующими сущностями (вершинами).

В работе [9] ассоциативную ресурсную сеть предложено описывать как ориентированный граф, задаваемый через множество вершин ассоциативной ресурсной сети, однозначно соотнесенных с концептами онтологии, и множество направленных ребер. Таким образом, ассоциативная ресурсная сеть функционирует в неразрывной связи с онтологией, хранящейся в базе знаний интеллектуальной системы, а каждое обращение к представленным в онтологии знаниям и их обработка приводит к изменению параметров ассоциативной ресурсной сети.

Далее найденные «Решения» должны быть проверены, поэтому они передаются на второй этап, где проверяются в рамках имеющегося проблемного комплекса в целевой проблемной области.

Содержание пятого этапа, а также его взаимодействие с этапами 1 и 4 метода приведено на рисунке 4.

Полученные в результате выводов по аналогии «Задачи» и «Решения» могут быть в последующем предварительно оценены; для этого необходимо оценить степень подобия структур обнаруженных процессов, установить инвариантности свойств взаимодействующих объектов и уточнить меру близости действий, выполняемых в рамках допустимой аналогии процессов.

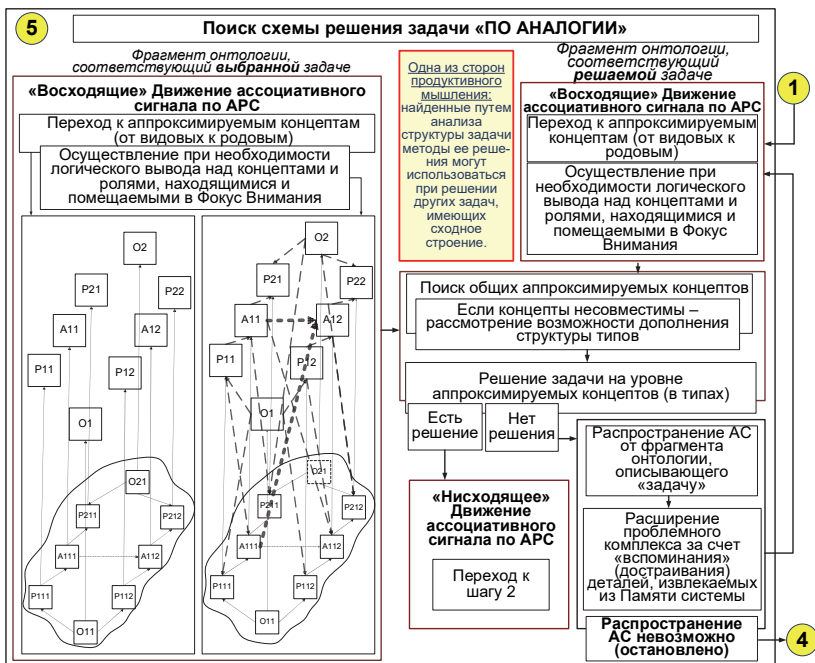


Рис. 4. Центральные этапы метода установления семантического подобия моделей «Задач» и «Решений» по аналогии

Далее механизмы абдуктивного синтеза продемонстрированы на примере, описанном в следующем разделе.

**3. Пример нахождения возможного решения путем установления подобия.** Пусть в базу знаний ИС занесены факты о том, что вычислительные системы бывают двух типов («Т\_1» и «Т\_2») и каждая из них способна воспринимать запросы («Свз»), обращенные к ней, и реагировать на них («СР»). К первому типу относится система «С1», а ко второму — «С2» (рисунок 5).

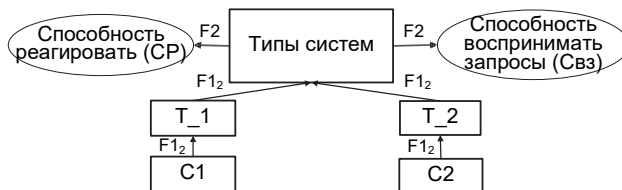


Рис. 5. Ввод данных о типах обследуемых систем

Для тестирования данных систем применяются соответствующие аудиты («А1» и «А2»). Каждый аудит состоит из двух

запросов/тестов (рисунок 6), задаваемых последовательно исследуемой системе. Для тестирования системы «С1» применяли аудит «А2», а для тестирования системы «С2» – аудит «А1» (рисунок 7). Проведение указанных аудитов признано экспертами результативным.

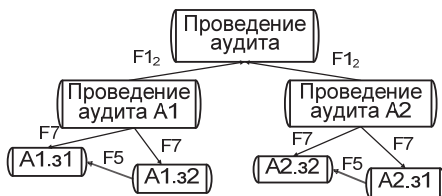


Рис. 6. Ввод данных о способах аудита

Проведение аудита, состоящего из двух тестов, означает, что сначала проводится первый тест, который переводит обследуемую систему в новое состояние, которое может отличаться от исходного. Далее уже измененная система подвергается второму тесту. Автоматически порожденные машиной логического вывода концепты в своих именах содержат историю преобразования исходного понятия (рисунок 8).

Описание проведения аудита предполагает построение интенционалов, описывающих порядок изменения тестируемой системы (рисунок 8). Так, например, сформированный концепт «СР[С1[Свз[С1],А2.з2]]» описывает способность системы «С1» реагировать после того, как ею был получен и обработан запрос «з2» из аудита «А2». Интенционал же «СР[С1[Свз[С1[Свз[С1], А2.з2]], А2.з1]]» представляет способность системы «С1» реагировать после того, как ею был получен и обработан запрос «з2», а затем «з1». Данные способности далее могут отражаться через реакции обследуемой системы «С1» и проявлять себя в значениях измерений, проводимых средствами проведения аудита или иными сторонними средствами.

Таким образом, в ходе работы машины логического вывода, реализованной в гиromате, онтология, представленная в его базе знаний, пополняется как новыми ролями, так и новыми концептами, которые на рисунках 7-10 изображены пунктирными линиями.

Допустим, далее на вход ИС подается факт о наличии системы «С3», которая относится к типу «Т1». Возникает вопрос, какой из аудитов следует провести для исследования данной системы (рисунок 9).

При этом выполняющий аудиты специалист может и не знать о проводимых ранее аудитах. Все, что ему известно — тип исследуемой системы. ИС должна порекомендовать специалисту вариант (варианты) проведения аудита. Предложенный вариант должен быть наиболее близок к тому, с чем уже встречалась ИС, то есть он должен согласовываться с имеющимся опытом, наработанным ранее.



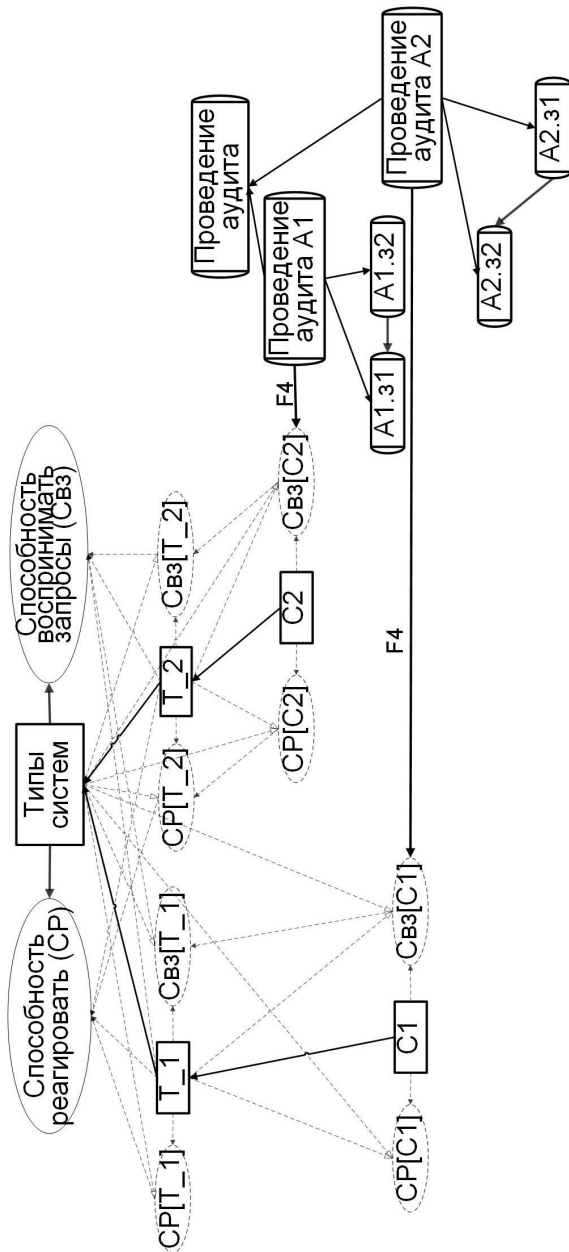


Рис. 7. Ввод данных об имевших место прецедентах

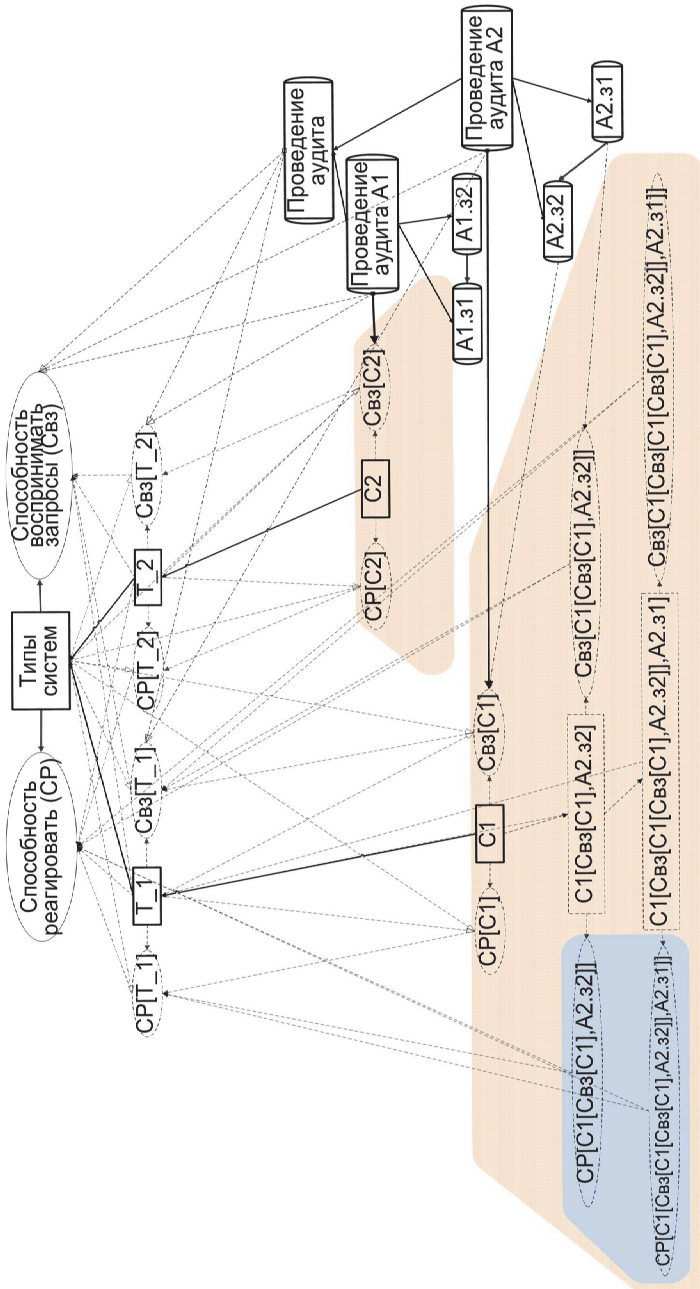


Рис. 8. Формирования интенционалов, описывающих изменение объектов (субъектов) в результате их взаимодействия

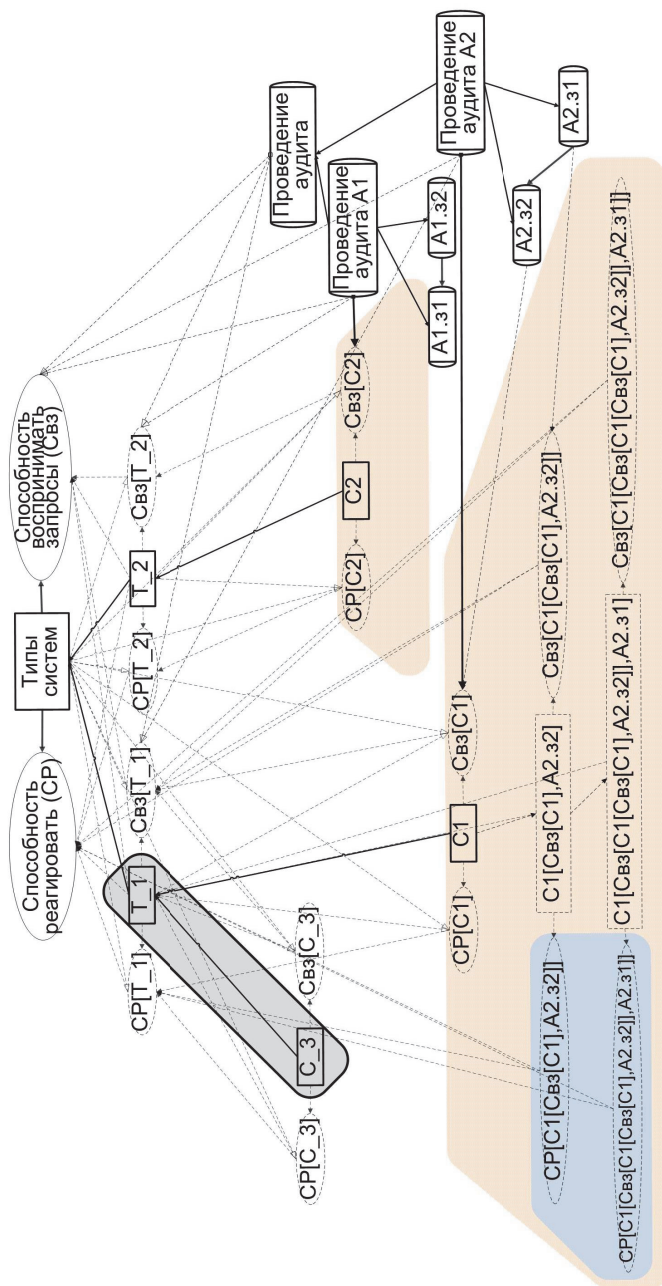


Рис. 9. Формирования проблемного комплекса, предполагающего поиск решения путем абдуктивного вывода по аналогии

Следует отметить, что в базу знаний ИС не вносились непосредственно знания о том, какой аудит нужно применять к определенному типу систем. Гиромат располагает только фактами об имевших место прецедентах. Следовательно, ответить на обозначенный вопрос ИС сможет, только осуществив вывод по аналогии.

Принципиальная возможность осуществления выводов по аналогии заложена в самой организации хранения данных. Все понятия, представленные в онтологии, частично упорядочены [7, 10, 11], а следовательно, при необходимости можно осуществить переход от видового понятия одной предметной/проблемной области (ПрО) через родовое к видовому, но принадлежащему другой ПрО. А если учесть, что концепты могут быть трех типов [6]: <Объекты>, <Свойства> и <Действия>, то можно говорить о поиске подобных структур, инвариантных свойств и близких действий.

Для вычисления степени «аналогичности» предлагается осуществлять расчет меры семантической близости.

Использование подсистемы, способной измерять значения показателей семантической близости понятий, представленных в онтологии, а соответственно, и находить семантически близкие понятия, должно позволить:

- расширять запросы, формируемые операторами к ИС и/или системе поддержки принятия решений, построенной на ее основе;
- измерять близость понятий, найденных ИС по аналогии и принадлежащих к разным системам концептуализации;
- предлагать операторам (лицам, принимающим решения) ранжированный перечень результатов, полученных по итогам обработки поступивших от них запросов.

На данный момент существует несколько типов мер близости понятий:

– меры, пригодные для определения близости между иерархически упорядоченными понятиями (близость двух понятий оценивается по положению вершин, соответствующих этим понятиям, в иерархических онтологических структурах — главным образом в таксономической иерархии);

– меры, способные учесть неиерархические отношения между понятиями (оценка близости понятий, использующая неиерархические («горизонтальные») отношения, опирается на предположение, что если два понятия имеют одно и то же отношение с третьим, то они ближе, чем два понятия, которые имеют это же отношение с различными понятиями, то есть близость двух понятий зависит от близости понятий, с которыми они имеют отношения);

– меры, учитывающие значения атрибутов (атрибутивная мера близости основана на близости значений общих атрибутов понятий);

– гибридные меры (являются сверткой вышперечисленных мер близости понятий, при этом важную роль играют значения различных весовых коэффициентов, используемых в выражениях свертки).

Также иногда используют меры близости между отношениями, которые в подавляющем большинстве основываются на вычислении средней геометрической близости понятий соответствующих аргументов сравниваемых отношений.

Достаточно полный обзор и классификация существующих мер семантической близости понятий и отношений в онтологиях приведен в работе [12].

Предложенный же в работах [6, 7] подход к представлению знаний в онтологии позволяет взглянуть на проблему вычисления меры семантической близости понятий и формируемых с помощью их спецификаций с более единых позиций, так как абсолютно все концепты в онтологии имеют свое конкретное место в соответствующем частично упорядоченном множестве (в решетке «Объектов», «Свойств» или «Действий»). В связи с этим предлагается рассмотреть применимость только тех метрик, из приведенных в работе [12], которые наиболее пригодны для оценивания семантической близости понятий, представленных в онтологии согласно правилам, описанным в работах [6, 7].

Известно, что в иерархических онтологических структурах, а главным образом в таксономической иерархии (иерархии, основанной на отношениях гипероним/гипоним, аппроксимации и т.п.), близость двух понятий может оцениваться по положению вершин, соответствующих этим понятиям.

Простейшая мера близости такого рода ( $S_1$ ) основана на длине кратчайшего пути, измеряемого числом вершин (или ребер) в пути между двумя вершинами таксономии с учетом глубины таксономической иерархии [13]:

$$S_1(c_1, c_2) = \log \frac{2N}{d(c_1, c_2)},$$

где  $N$  — максимальная глубина рассматриваемых вершин (понятий):  $N = \max(N(c_1), N(c_2))$ ;  $N(c_1)$  и  $N(c_2)$  глубины вершин  $c_1$  и  $c_2$  соответственно (максимальные глубины в таксономической иерархии);  $d(c_1, c_2)$  — длина кратчайшего пути между вершинами.

Несложно проверить, что чем ниже уровень пары вершин, тем они семантически ближе по сравнению с парами более высокого уровня. Это обусловлено тем, что по мере спуска уровень семантической детализации увеличивается, а следовательно, глубина вершин тоже может учитываться [14]:

$$S_2(c_1, c_2) = \frac{2 \times N(LCS)}{N(c_1) + N(c_2)} = \frac{2 \times N(LCS)}{l(c_1, LCS) + l(c_2, LCS) + 2 \times N(LCS)},$$

где  $N(LCS)$  — глубина наименьшей (наиболее глубокой) общей родительской вершины — ближайшего общего родителя ( $LCS$ );  $l(c_i, LCS)$  — длина максимального пути от вершины  $c_i$  до родительской вершины  $LCS$ .

Можно предположить, что в ряде случаев при коллективном пополнении онтологии (базы знаний гиромата) могут иметь место такие ситуации, при которых, например, эксперт, вносящий информацию об «Объектах» некоторой предметной области, не в состоянии упорядочить вносимые понятия в рамках существующей таксономической иерархии, но может увязать вносимые «Объекты» с понятиями, описывающими свойства этих «Объектов». В то же время понятия, описывающие свойства «Объектов», вполне могут быть элементами какой-либо таксономической иерархии (решетки, построенной на основе отношения «Аппроксимирует»). Тогда вполне обоснованно можно утверждать, что судить о близости двух понятий, отражающих «Объекты», можно через оценивание близости понятий, с которыми они имеют отношения, а именно — через близость их «Свойств».

Следует отметить, что для перехода от одной таксономической иерархии к другой можно использовать не только отношение между «Объектами» и «Свойствами», но и другие отношения, применяемые для построения онтологий. Видится достаточно перспективным проведение отдельных исследований, связанных с определением мер близости, вычисленных с учетом меронимических отношений («Состоит из» / «Часть-целое»).

На начальном же этапе в рамках подхода к определению близости понятий, представленных в единой базе знаний ИС, предлагается особое внимание уделить тем мерам близости, которые ориентированы на учет иерархических структур, поскольку абсолютно все знания, находящиеся в памяти интеллектуальной системы, однозначно ассоциируются с вершинами онтологии, являющимися узлами таксономической иерархии [6, 15].

Возвращаясь к иллюстративному примеру, рассматриваемому выше, можно выделить фрагмент онтологии, на основании которого

гироматом может быть выдвинута гипотеза о типе проводимого аудита системы «С\_3» (рисунок 10).

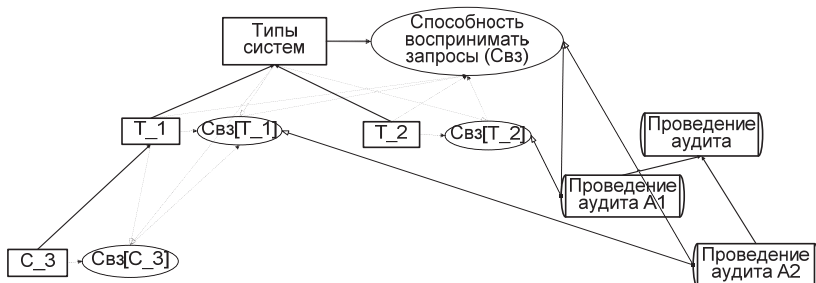


Рис. 10. Фрагмент онтологии, участвующий в формировании «Решения»

Выделим элементы семантической сети, участвующие в расчете семантической близости между понятиями «С\_3» и «Проведение аудита А2», а также «С\_3» и «Проведение аудита А1» (таблица 2).

Таблица 2. Структурные элементы семантической сети, участвующие в расчете меры семантической близости

№	Рассматриваемые пути в семантической сети	$S_2$
1	С_3 ->Свз[С_3]->Свз[Т_1]->Способность воспринимать запросы(Свз)->Т	0,57
	Проведение аудита А2->Свз[Т_1]->Способность воспринимать запросы(Свз)->Т	
2	С_3 ->Свз[С_3]->Свз[Т_1]->Способность воспринимать запросы (Свз)->Т	0,29
	Проведение аудита А1->Свз[Т_2]->Способность воспринимать запросы (Свз)->Т	

Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что исходя из накопленного интеллектуальной системой опыта для тестирования системы «С\_3» рекомендуется применить аудит «А2». Следует отдельно отметить, что сформированная рекомендация основывается не только на фактах, непосредственно внесенных экспертами, но и на порожденных гироматом знаниях, представленных как в виде выведенных им ролей, так и сформированных концептов.

**7. Заключение.** В основе разработанного метода абдуктивного синтеза структур функциональных типов сценариев в многомерной пополяемой системе знаний лежит возможность интеллектуальной системы на основе знаний об имевших место прецедентах осуществлять вывод близких решений по аналогии.

Проведенный анализ широко применяемых в настоящее время машин логического вывода (FaCT++, HermiT, Pellet и др.) и дескрипционных логик, реализованных в них [17-21], показал, что они не способны абдуктивно порождать новые знания, осуществляя вывод по аналогии.

Установление семантического подобия наблюдаемых и формируемых ИС спецификаций базируется на возможности гиромата в общем случае осуществлять переход от аппроксимирующих концептов (а следовательно, и процессов), принадлежащих одной проблемной области (контексту), через аппроксимируемые (более общие, абстрактные) к аппроксимирующим, но принадлежащим другой проблемной области (контексту). Ввиду того, что в результате поиска по аналогии может быть порождено множество «Решений», так как в ряде случаев «спуск» по частично упорядоченному множеству концептов (от аппроксимируемых к аппроксимирующим) может приводить к помещению в фокус внимания целого ряда концептов, находящихся на одном уровне в частично упорядоченном множестве (то есть несравнимых между собой), предложено осуществлять расчет мер семантической близости понятий, участвующих в формировании искомых спецификаций, а также понятий, связанных с ними. Если же и в результате расчета и учета мер семантической близости на выходе гиромат предлагает альтернативные спецификации, то для их упорядочивания в выбранной шкале предлагается учесть параметры ассоциативной ресурсной сети, функционирующей поверх онтологии [9]. Ассоциативная ресурсная сеть позволяет учитывать опыт, накопленный интеллектуальной системой на предыдущих этапах ее функционирования, путем изменения яркости своих вершин и пропускных способностей ребер: те концепты и связи (роли) между ними, которые в большей степени подкрепляются в ходе функционирования интеллектуальной системы, в итоге становятся наиболее доступными при интеллектуальном поиске. Таким образом, в общем случае сформированная (найденная) спецификация, состоящая из понятий, с которыми связаны наиболее яркие вершины ассоциативной ресурсной сети, будет предложена в первую очередь.

### **Литература**

1. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Ростовцев Ю.Г.* Облик антиципирующих систем предотвращения рисков реализации киберугроз // Труды СПИИРАН. 2015. № 2(39). С. 5–25.
2. *Гаазе-Рапопорт М.Г.* От амебы до робота: модели поведения // М.: Наука. 1987. 286 с.
3. *Поспелов Д.А.* Мышление и автоматы // М.: Советское радио. 1972. 224 с.
4. *Финн В.К.* Об интеллектуальном анализе данных // Новости Искусственного интеллекта. 2004. № 3. С. 3–18.
5. *Финн В.К.* Искусственный интеллект: Идейная база и основной продукт // Труды 9-ой национальной конференции по искусственному интеллекту. М.: Физматлит. 2004. Т. 1. С. 11–20.
6. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г.* Денотационная семантика контекстов знаний при онтологическом моделировании предметных областей конфликта // Труды СПИИРАН. 2015. №5(42). С. 155–179.
7. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Жолус Р.Б.* Пополнение онтологических систем знаний на основе моделирования умозаключений с учетом семантики ролей // Труды СПИИРАН. 2016. № 4(47). С. 105–129.



8. *Жулякова Л.Ю.* Модель ассоциативной памяти, основанная на динамической ресурсной сети // Материалы конференции «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах (УТЭОСС-2012)». СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор». 2012. С. 1160–1163.
9. *Бирюков Д.Н., Глухов А.П., Сабиров Т.Р., Пилькевич С.В.* Модель изменения доступности знаний, представленных в памяти киберсистемы, обеспечивающей нейтрализацию деструктивных воздействий на объекты критической информационной инфраструктуры // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Часть 8. № 4. С. 56–63.
10. *Scott D.S.* Models for various type-free calculi // *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*. 1973. vol. 74. pp. 157–187.
11. *Scott D.S.* Lattice theory, data types and semantics // *Formal semantics of programming languages*. 1972. vol. 2. pp. 65–106.
12. *Крюков К.В. и др.* Меры семантической близости в онтологии // Пробл. управл. 2010. № 5. С. 2–14.
13. *Leacock C., Chodorow M.* Combining local context and WordNet similarity for word sense identification // *WordNet: An electronic lexical database*. 1998. vol. 49. no. 2. pp. 265–283.
14. *Wu Z, Palmer M.* Verb semantics and lexical selection // 32<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 1994. pp. 133–138.
15. *Resnik P.* Semantic similarity in a taxonomy: An information based measure and its application to problems of ambiguity in natural language // *Journal of Artificial Intelligence Research*. 1999. vol. 11. pp. 95–130.
16. *Calvanese D., Giacomo G., Lenzerini M., Rosati R.* View-based query answering in description logics: Semantics and complexity // *J. of Computer and System Sciences*. 2012. № 78(1). pp. 26–46.
17. *Eiter T., Ortiz M., Simkus M.* Conjunctive query answering in the description logic SH using knots // *J. of Computer and System Sciences*. 2012. № 78(1). pp. 47–85.
18. *Kikot S., Tsarkov D., Zakharyashev M., Zolin E.* Query Answering via Modal Definability with FaCT++: First Blood // *Description Logics*. 2013. pp. 328–340.
19. *Zhang X. et al.* A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite // *International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management*. 2015. pp. 15–27.
20. *Goncalves R., Matenzoglu N., Parsia B., Sattler U.* The empirical robustness of description logic classification // *Proceedings of the 2013th International Conference on Posters & Demonstrations Track-Volume 1035. CEUR-WS. Org*. 2013. pp. 277–280.
21. *Glimm B. et al.* Hermit: An owl 2 reasoner // *Autom. Reason*. 2014. vol. 53(3). pp. 245–269.

**Бирюков Денис Николаевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры систем сбора и обработки информации, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: системный анализ, защита информации, интеллектуальная поддержка принятия решений. Число научных публикаций — 85. [Viryukov.D.N@yandex.ru](mailto:Viryukov.D.N@yandex.ru); ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812) 237-19-60.

**Ломако Александр Григорьевич** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры систем сбора и обработки информации, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: информационная безопасность, теоретическое и системное программирование, синтез и верификация корректности моделей программ, системы искусственного интеллекта. Число научных публикаций — 290. [lomako\\_ag@mail.ru](mailto:lomako_ag@mail.ru); ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812) 237-19-60.

**Сабиров Тимур Римович** — адъюнкт кафедры систем сбора и обработки информации, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: интеллектуальная поддержка принятия решений. Число научных публикаций — 15. [Rowing-team@mail.ru](mailto:Rowing-team@mail.ru); ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812) 237-19-60.

D.N. BIRYUKOV, A.G LOMAKO, T.R. SABIROV  
**ABDUCTIVE SYNTHESIS OF THE STRUCTURES OF THE  
 FUNCTIONAL TYPES OF SCENARIOS TO ESTABLISH THE  
 MULTI-MODEL ANALOGIES IN CONCEPTUAL AND  
 ONTOLOGICAL KNOWLEDGE**

---

*Biryukov D.N., Lomako A.G, Sabirov T.R. Abductive Synthesis of the Structures of the Functional Types of Scenarios to Establish the Multi-Model Analogies in Conceptual and Ontological Knowledge.*

**Abstract.** It is proposed to empower the intelligent system with an ability of the abductive generation of new knowledge based on conclusions by analogy. With such an ability it could be trained on precedents, taking place in different areas, transferring knowledge about the phenomena observed in one subject area to another. It is important that, on the basis of the task to be solved, the establishment of analogies can be carried out by means of finding similar structures, invariant properties and akin actions in the multi-model conceptual and ontological knowledge system. Establishing semantic similarity of the observed specifications and the ones generated by an intelligent system is based on the ability of the Giromat in general case to perform the transition from the approximating concepts that belong to the same problem domain (context), through the approximated ones (more general, abstract), to approximating as well, but belonging to a different problem domain (context).

**Keywords:** intelligent system, giromat, ontology, abduction, analogy, semantic closeness.

---

**Biryukov Denis Nikolaevich** — Ph.D., Dr. Sci., professor of systems for collecting and processing information department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: system analyses, IT-Security, intelligent decision support. The number of publications — 85. Biryukov.D.N@yandex.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812) 237-19-60.

**Lomako Aleksandr Grigor'evich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, professor of system for collecting and processing information department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: information security, theoretical and system programming, synthesis and verification of program models, artificial intelligence systems. The number of publications — 290. lomako\_ag@mail.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812) 237-19-60.

**Sabirov Timur Rimovich** — Ph.D. student of system for collecting and processing information department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: intelligent decision support. The number of publications — 15. Rowing-team@mail.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812) 237-19-60.

## References

1. Biryukov D.N., Lomako A.G., Rostovtsev Y.G. [The Appearance Cyber Threats Risk Prevention Systems]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 2(39). pp. 5–25. (In Russ).
2. Gaaze-Rapoport M.G. *Ot ameby do robota: modeli povedeniya* [From the amoeba to the robot: model behavior]. M.: Nauka. 1987. 286 p. (In Russ).
3. Pospelov D.A. *Myshlenie i avtomaty* [Thinking and machines]. M.: Sovetskoe radio. 1972. 224 p. (In Russ).

4. Finn V.K. [About data mining]. *Novosti isskustvennogo intellekta – Artificial intelligence news*. 2004. vol. 3. pp. 3–18. (In Russ).
5. Finn V.K. [Artificial intelligence: a Conceptual framework and the main product]. *Trudy 9-oj nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu* [Proceedings of the 9th national conference on artificial intelligence]. M.: Fizmatlit. 2004. Issue 1. pp. 11–20. (In Russ).
6. Biryukov D.N., Lomako A.G. [Denotational semantics of knowledge contexts in ontologic modeling of subject domains of the conflict]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 5(42). pp. 155–179. (In Russ).
7. Birjukov D.N., Lomako A.G., Zholus R.B. [Ontological knowledge system completion based on modeling inferences considering role semantic]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2016. vol. 4(47). pp. 105–129. (In Russ).
8. Zhilyakova L.Yu. [The model of associative memory based on a dynamic resource network]. *Materialy konferencii "Upravlenie v tekhnicheskikh, ehrgaticheskikh, organizacionnyh i setevyh sistemah (UTEHOSS-2012)"* [Materials of the conference "Management in technical, ergatic, organizational and network systems (TEONS)"]. St. Petersburg: SSC RF JSC "Concern "CRI "Electropribor". 2012. pp. 1160–1163. (In Russ).
9. Birjukov D.N., Gluhov A.P., Sabirov T.R., Pil'kevich S.V. [Model of change accessible knowledge, in-memory representation cybersystems to neutralize the destructive effects on critical information infrastructure objects]. *Naukoemkie tehnologii v kosmicheskikh issledovaniyah Zemli – H&ES Research*. 2016. vol.8. no. 4 pp. 56–63. (In Russ).
10. Scott D.S. Models for various type-free calculi. *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*. 1973. vol. 74. pp. 157–187.
11. Scott D.S. Lattice Theory, Data Types and Semantics. *Formal semantics of programming languages*. 1972. vol. 2. pp. 65–106.
12. Kryukov K.V. et al. [Measures of semantic similarity in ontology]. *Problemy upravleniya – Management problems*. 2010. vol. 5. pp. 2–14. (In Russ).
13. Leacock C., Chodorow M. Combining local context and WordNet similarity for word sense identification. *WordNet: An electronic lexical database*. 1998. vol. 49. no. 2. pp. 265–283.
14. Wu Z, Palmer M. Verb semantics and lexical selection. *32<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. 1994. pp. 133–138.
15. Resnik P. Semantic similarity in a taxonomy: An information based measure and its application to problems of ambiguity in natural language *Journal of Artificial Intelligence Research*. 1999. vol. 11. pp. 95–130.
16. Calvanese D., Giacomo G., Lenzerini M., Rosati R. View-based query answering in description logics: Semantics and complexity *J. of Computer and System Sciences*. 2012. vol. 8(1). pp. 26–46.
17. Eiter T., Ortiz M., Simkus M. Conjunctive query answering in the description logic SH using knots. *J. of Computer and System Sciences*. 2012. vol. 78(1). pp. 47–85.
18. Kikot S., Tsarkov D., Zakharyashev M., Zolin E. Query Answering via Modal Definability with FaCT++: First Blood. *Description Logics*. 2013. pp. 328–340.
19. Zhang X. et al. A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite. *International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management*. 2015. pp. 15–27.
20. Goncalves R., Matentzoglou N, Parsia B., Sattler U. The empirical robustness of description logic classification. *Proceedings of the 2013th International Conference on Posters & Demonstrations Track-Volume 1035. CEUR-WS. Org*. 2013. pp. 277–280.
21. Glimm B., Horrocks I., Motik B., Stoilos G., Wang Z. Hermit: An owl 2 reasoner. *Autom. Reason*. 2014. vol. 53(3). pp. 245–269.