

УДК 004.032.26, 004.822.2

## ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ СЕМАНТИЧЕСКИ СОВМЕСТИМЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СМЫСЛОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

В.В. Голенков<sup>1,a</sup>, Н.А. Гулякина<sup>1,b</sup>, И.Т. Давыденко<sup>1,c</sup>, Д.В. Шункевич<sup>1,d</sup>, А.П. Еремеев<sup>2,e</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Московский энергетический институт), Москва, Россия

<sup>a</sup>golen@bsuir.by, <sup>b</sup>guliakina@bsuir.by, <sup>c</sup>ir.davydenko@gmail.com, <sup>d</sup>shunkevichdv@gmail.com, <sup>e</sup>YeremeevAP@mpei.ru

### Аннотация

Работа посвящена проблеме обеспечения семантической совместимости интеллектуальных систем. Показано, что обеспечение совместимости интеллектуальных систем и разработка соответствующих стандартов является ключевым направлением развития технологий проектирования интеллектуальных систем. Формально уточнено понятие смыслового представления информации в памяти интеллектуальной системы, которое обеспечивает однозначность представления информации с использованием заданного набора понятий. Показана возможность автоматической интеграции знаний в рамках смыслового представления знаний, которая сводится к склеиванию синонимичных знаков. Показана возможность автоматической интеграции различных моделей обработки знаний, если эти модели представляют собой коллективы агентов, ориентированных на обработку знаний, представленных в памяти интеллектуальных систем в смысловой форме, и взаимодействующих между собой через указанную память. Предложена Технология OSTIS, ориентированная на разработку семантических компьютерных систем. Предложена концепция Экосистемы OSTIS, представляющей собой коллектив взаимодействующих интеллектуальных систем, построенных по Технологии OSTIS и поддерживающих эволюцию и совместимость интеллектуальных систем в ходе их эксплуатации в рамках данной экосистемы. Рассмотрены примеры использования Технологии OSTIS при разработке прикладных интеллектуальных систем.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, язык представления знаний, модель интеллектуальной системы, компонентное проектирование, совместимость систем.

**Цитирование:** Голенков, В.В. Онтологическое проектирование гибридных семантически совместимых интеллектуальных систем на основе смыслового представления знаний / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина, И.Т. Давыденко, Д.В. Шункевич, А.П. Еремеев // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, №1(31). – С.132-151. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-132-151.

### Введение

До настоящего времени традиционные информационные технологии (ИТ) и технологии искусственного интеллекта (ИИ) развивались независимо друг от друга. Сейчас настало время фундаментального переосмысления опыта использования и эволюции традиционных ИТ и их интеграции с технологиями ИИ.

В данной работе рассмотрена ключевая на текущий момент проблема развития ИТ в целом и технологий ИИ в частности - проблема обеспечения информационной совместимости компьютерных систем (КС) и в том числе интеллектуальных систем (ИС).

Актуальность решения этой проблемы обусловлена тем, что информационная совместимость КС повысит уровень их обучаемости благодаря более эффективному восприятию опыта (знаний и навыков) от других КС. При этом появится возможность:

- расширить многообразие используемых в КС знаний и навыков без необходимости разработки специальных средств их согласования [1-3];
- создания коллективов КС, использующих универсальные принципы организации взаимодействия между КС на содержательном уровне;
- автоматизации процесса поддержки и восстановления информационной совместимости КС не только с другими КС, но и с их пользователями;
- сократить сроки разработки новых КС с помощью постоянно расширяемой библиотеки многократно используемых компонентов КС [4-6].

## 1 Предлагаемый подход к дальнейшей эволюции КС и технологий

Анализ проблем эволюции КС показывает, что несовместимость, дублирование и субъективизм используемых информационных ресурсов (ИР) и моделей их обработки присутствует в развитии: традиционных КС; технологий ИИ [7]; методов и средств информатизации научной и инженерной деятельности [8, 9].

Обеспечение совместимости ИР и моделей их обработки имеет разные аспекты:

- совместимость между различными компонентами КС, а также между целостными КС, входящими в коллективы КС;
- совместимость между различными КС и их пользователями;
- междисциплинарная совместимость, конвергенция различных областей знаний [10, 11];
- методы и средства постоянного мониторинга и восстановления совместимости в условиях интенсивной эволюции КС и их пользователей.

### 1.1. Направления эволюции КС

В эволюции КС можно выделить два направления. Первое направление – это расширение множества и многообразия задач, решаемых КС [1, 2, 12]. Второе – это повышение уровня их обучаемости и, как следствие, темпов их эволюции. Обучаемость КС определяется: *трудоёмкостью*, темпами расширения и совершенствования используемых знаний и навыков [13, 14]; *уровнем ограничений*, накладываемых на вид приобретаемых и используемых знаний и навыков.

В свою очередь, трудоёмкость и темпы расширения и совершенствования знаний и навыков КС определяются [15]:

- *гибкостью* – многообразием и трудоёмкостью возможных изменений, вносимых в систему в процессе пополнения системы новыми знаниями и навыками;
- *стратифицированностью* – разделением системы на достаточно независимые друг от друга уровни иерархии;
- *рефлексивностью* — способностью анализировать собственное состояние и свою деятельность;
- *гибридностью* – способностью приобретать и использовать широкое многообразие знаний и навыков;
- *уровнем самообучаемости* – уровнем активности, самостоятельности, целеустремленности в процессе обучения без учителя;
- *совместимостью* – трудоёмкостью интеграции с другими КС и с компонентами КС;
- способностью к *постоянному мониторингу* и поддержке своей совместимости как с другими КС, так и со своими пользователями в условиях эволюции КС и их пользователей.

Совместимость КС может рассматриваться в аспекте *глубокой интеграции* КС, что предполагает преобразование нескольких КС в одну целостную КС, и в аспекте преобразования нескольких КС в *коллектив взаимодействующих КС*.

Совместимость КС определяется:

- совместимостью различного вида информации (знаний), хранимой в памяти КС;
- совместимостью различных моделей решения задач;
- совместимостью встроенных подсистем, входящих в состав КС;
- совместимостью внешней информации с информацией, хранимой в памяти КС;
- коммуникационной совместимостью с пользователями и с другими КС.

### 1.2. Суть предлагаемого подхода

Суть предлагаемого подхода к решению проблем эволюции КС заключается в объединении указанных направлений эволюции КС и в трактовке проблемы обеспечения совместимости различных КС как ключевой проблемы эволюции КС, без решения которой невозможно:

- создавать коллективы КС, способные координировать свои действия при кооперативном расширении сложных задач;
- создавать гибридные КС, способные решать сложные задачи с использованием сочетания разных видов знаний и моделей решения задач;
- использовать компонентную методику проектирования КС.

Совместимость КС и их компонентов, а также совместимости КС с пользователями имеют разные трактовки этого термина:

- совместимость как один из факторов обучаемости, как *способность* к быстрому повышению уровня согласованности (интеграции, взаимопонимания);
- совместимость как характеристика достигнутого уровня согласованности.

### 1.3. Унификация КС

Главным фактором обеспечения совместимости различных видов знаний, различных моделей решения задач и различных КС в целом является унификация:

- представления информации в КС [16, 17];
  - принципов организации обработки информации в КС.
- Унификация представления информации в КС предполагает:
- *синтаксическую* унификацию информации – унификацию формы представления (кодирования) информации:
    - кодирование информации в памяти КС (внутреннее представление информации);
    - внешнее представление информации, обеспечивающее однозначность интерпретации информации разными пользователями и разными КС;
  - *семантическую* унификацию информации, в основе которой лежит согласование и точная спецификация используемых понятий с помощью системы формальных онтологий.

## 2 Смысловое представление информации в памяти КС

Объективным ориентиром для представления информации в памяти КС является формализация смысла представляемой информации [18-20].

Принципы смыслового представления информации основаны на:

- различиях внутреннего языка КС, используемого для хранения информации в памяти компьютера, и внешних языков КС, используемых для общения КС с пользователями и другими КС;
- упрощении синтаксиса внутреннего языка КС при обеспечении универсальности путём исключения из внутреннего универсального языка средств, обеспечивающих коммуникационную функцию языка (например, союзы, предлоги, склонения и другие).

## 2.1. Унификация внутреннего представления информации в КС

*Смысл* – это абстрактная знаковая конструкция, принадлежащая внутреннему языку КС, являющаяся инвариантом максимального класса семантически эквивалентных знаковых конструкций, принадлежащих разным языкам, и удовлетворяющая следующим требованиям:

- универсальность - возможность представления любой информации;
- отсутствие синонимии знаков;
- отсутствие дублирования информации в виде семантически эквивалентных текстов;
- отсутствие омонимичных знаков (в том числе местоимений);
- отсутствие у знаков внутренней структуры (атомарный характер знаков);
- отсутствие склонений, спряжений;
- отсутствие фрагментов знаковой конструкции, не являющихся знаками (разделителей, ограничителей, и т.д.);
- наличие знаков связей, компонентами которых могут быть любые знаки, с которыми знаки связей связываются синтаксически задаваемыми отношениями инцидентности.

Следствием указанных принципов смыслового представления информации в памяти КС является то, что знаки сущностей, входящие в смысловое представление информации, не являются именами (терминами) и, следовательно, не привязаны ни к какому естественному языку и не зависят от пристрастий различных авторов. Эти же принципы приводят к нелинейным знаковым конструкциям (к графовым структурам), что усложняет реализацию памяти КС, но существенно упрощает её логическую организацию (в частности, ассоциативный доступ). Нелинейность смыслового представления информации обусловлена тем, что:

- каждая описываемая сущность, т.е. сущность, имеющая соответствующий ей знак, может иметь неограниченное число связей с другими сущностями;
- каждая описываемая сущность в смысловом представлении имеет единственный знак, т.к. синонимия знаков здесь запрещена;
- все связи между описываемыми сущностями описываются связями между знаками этих сущностей.

Суть универсального смыслового представления информации можно сформулировать в виде следующих положений.

- Смысловая знаковая конструкция трактуется как множество знаков, взаимно-однозначно обозначающих различные сущности и множество связей между этими знаками.
- Каждая связь между знаками трактуется как множество знаков, связываемых этой связью, и как описание соответствующей связи, которая связывает денотаты указанных знаков или денотаты одних знаков непосредственно с другими знаками, или сами эти знаки.
- Денотатами знаков могут быть конкретные и произвольные, реальные и абстрактные, «внешние» и «внутренние» сущности, являющиеся множествами знаков, входящих в состав той же самой знаковой конструкции.

Ключевым свойством языка смыслового представления информации является однозначность представления информации в памяти каждой КС, т.е. отсутствие семантически эквивалентных знаковых конструкций, принадлежащих смысловому языку и хранимых в одной смысловой памяти. При этом логическая эквивалентность таких знаковых конструкций допускается и используется, например, для компактного представления некоторых знаний, хранимых в смысловой памяти.

Логически эквивалентные знаковые конструкции – это представление одного и того же знания, но с помощью разных наборов понятий. В отличие от этого семантически эквивалентные знаковые конструкции – это представление одного и того же знания с помощью одних и тех же понятий. Многообразие возможных вариантов представления одних и тех же знаний в памяти КС усложняет решение задач. Поэтому, исключив семантическую эквива-

лентность в смысловой памяти, необходимо стремиться к минимизации логической эквивалентности. Для этого необходимо грамотное построение системы используемых понятий в виде иерархической системы формальных онтологий [20, 21].

Важным этапом создания способа смыслового кодирования знаний был Универсальный Семантический Код (УСК) [18]. В качестве стандарта универсального смыслового представления информации в памяти КС предложен *sc-код* (*Semantic Computer Code*) [15]. В отличие от УСК В.В. Мартынова он специально ориентирован на кодирование информации в памяти компьютеров нового поколения, ориентированных на разработку семантически совместимых ИС и названных *семантическими ассоциативными компьютерами*. Таким образом, сутью предлагаемого смыслового представления информации является ориентация на формальную модель памяти нефоннеймановского компьютера, предназначенного для реализации ИС, использующих смысловое представление информации.

## 2.2. Синтаксис *sc*-кода

Универсальность *sc*-кода позволяет с его помощью описывать любые объекты. Таким объектом может быть любой язык коммуникации с пользователями (в том числе и естественный язык), а также сам *sc-код*. Синтаксис *sc*-кода представляется в виде соответствующей формальной онтологии, которая подробно рассмотрена в работе [22].

Семейство введённых классов объектов исследования трактуется как *Алфавит sc-кода*. Но, в отличие от других языков, классы синтаксически выделяемых элементарных фрагментов текстов *sc*-кода могут пересекаться. Так, например, *sc-элемент* может одновременно принадлежать и классу *sc-элементов*, и классу *sc-узлов*, а также одновременно принадлежать и классу *sc-элементов*, и классу *sc-коннекторов*, и классу *sc-дуг*, и классу *базовых sc-дуг*. Такая особенность *Алфавита sc-кода* даёт возможность строить синтаксически корректные *sc-тексты* (тексты *sc*-кода) в условиях неполноты исходных знаний о некоторых *sc-элементах*.

Отметим некоторые синтаксические особенности *sc*-кода.

- Тексты *sc*-кода являются *абстрактными* в том смысле, что они абстрагируются от конкретного варианта их кодирования в памяти КС. Кодирование текстов, в частности, зависит от варианта технической реализации памяти КС. Так, например, актуальной является аппаратная реализация ассоциативной нелинейной памяти, в которой реализуется структурная реконфигурация хранимой информации, в которой обработка информации сводится не к изменению состояния элементов памяти, а к изменению конфигурации связей между ними.
- Тексты *sc*-кода являются структурами *графоподобного вида*. Все графовые структуры легко представимы в *sc*-коде (неориентированные и ориентированные графы, мультиграфы, псевдографы, гиперграфы, сети и др.). В *sc*-коде представимы и связи между связями, связи между целыми структурами и многое другое. Таким образом, теория графов при соответствующем её расширении является основой описания синтаксиса *sc*-кода.

## 2.3. Семантика *sc*-кода

Простота синтаксиса *sc*-кода обусловлена следующими семантическими свойствами *sc*-текстов:

- все *sc-элементы*, то есть элементарные (атомарные) фрагменты *sc*-текстов, являются знаками различных описываемых сущностей, при этом каждая сущность, описываемая в тексте *sc*-кода, должна быть представлена своим знаком;
- никаких других знаков, кроме *sc-элементов*, *sc*-тексты не содержат;
- любая сущность может быть описана *sc*-текстом;

- все синтаксически выделяемые классы *sc-элементов* (т.е. все элементы *Алфавита sc-кода*) имеют чёткую семантическую интерпретацию – являются классами *sc-элементов*, каждый из которых обозначает сущность, имеющую общие одинаковые свойства со всеми другими сущностями, обозначаемыми другими *sc-элементами* этого же класса.

Денотационная семантика любой знаковой конструкции – это соответствие между множеством всех знаков, входящих в знаковую конструкцию, и множеством денотатов этих знаков, а также между множеством всех семантически значимых связей, связывающих знаки, и множеством соответствующих им связей, связывающих либо денотаты всех указанных знаков, либо денотаты некоторых из указанных знаков непосредственно с остальными знаками.

Формальное описание денотационной семантики *sc-кода* средствами *sc-кода* осуществляется в виде системы *формальных онтологий* верхнего уровня, представленных в виде текстов *sc-кода*. Указанная система формальных онтологий подробно рассмотрена в работе [22], а также представлена в базе знаний (БЗ) *Метасистемы IMS.ostis* [23].

### 3 Уточнение понятия семантической совместимости

Важнейшим этапом эволюции любой технологии является переход к компонентному проектированию на основе постоянно пополняемой библиотеки многократно используемых компонентов.

Основной проблемой для реализации компонентного проектирования являются:

- унификация компонентов по форме;
- разработка стандартов, обеспечивающих совместимость этих компонентов.

Для реализации компонентного проектирования БЗ требуется:

- универсальный язык представления знаний;
- универсальная процедура интеграции знаний в рамках указанного языка;
- разработка стандарта, обеспечивающего *семантическую совместимость* интегрируемых знаний (таким стандартом является согласованная система используемых понятий).

Для смыслового представления знаний нужны смысловые семантические координаты, роль которых выполняет используемая система понятий, которая описывается иерархической системой семантически связанных между собой *онтологий*.

Знания необходимо привести к общему «семантическому знаменателю», чем является постоянно уточняемая система понятий, специфицируемая в виде объединённой онтологии. Эта объединённая онтология стратифицируется на частные онтологии.

Один из принципов семантической совместимости новой информации с БЗ, в которую эта информация погружается, можно сформулировать следующим образом: все знаки, являющиеся новыми для воспринимающей БЗ, должны быть специфицированы через понятия, известные БЗ. Стандарт смыслового представления информации (*sc-код*) даёт возможность повысить уровень совместимости КС и формально уточнить понятие интеграции КС и их компонентов.

#### 3.1. Уточнение процесса понимания на основе смыслового представления информации

Очевидно, что формализация смыслового представления информации в памяти КС существенно упрощает уточнение того, как происходит процесс понимания новой информации, поступающей на вход КС, либо генерируемой в процессе обработки информации. Этот процесс можно разбить на три этапа:

- *трансляция* информации с некоторого внешнего языка на внутренний смысловой язык *sc-код* (этап отсутствует, если новая информация не вводится извне, а непосредственно генерируется в памяти КС);
- *погружение* новой информации, представленной в виде *sc-текста*, в текущее состояние ИР, хранимого в памяти КС и представленного также в виде *sc-текста*;
- *выравнивание* (согласование) понятий, используемых в новой вводимой извне или сгенерированной информационной конструкции, с понятиями, используемыми в текущем состоянии хранимого в памяти КС ИР.

Рассмотрим каждый из перечисленных этапов подробнее.

*Трансляция* информации с внешнего языка в *sc-код* упрощается, поскольку:

- средствами *sc-кода* можно описать *синтаксис* внешнего языка, т.к. универсальность *sc-кода* позволяет с его помощью и с любой степенью детализации описывать любые объекты, в том числе и такие сложные системы внешней среды КС, как внешние языки;
- процесс *синтаксического анализа* исходного текста внешнего языка можно выполнить путём манипуляции текстами *sc-кода* и в результате получить описание структуры исходного текста, имеющее достаточную полноту (детализацию) для последующей генерации семантически эквивалентного ему текста *sc-кода*;
- средствами *sc-кода* можно описать *семантику* внешнего языка, трактуя её как описание свойств морфизмов между *sc-текстами*, описывающими синтаксическую структуру исходных внешних текстов, и *sc-текстами*, которые семантически эквивалентны этим исходным текстам;
- процесс генерации *sc-текста*, *семантически эквивалентного* исходному внешнему тексту, также можно выполнить путём манипуляции *sc-текстами*.

*Погружение* (интеграция) нового сгенерированного *sc-текста* в текущее состояние *sc-текста* (например, в состав БЗ, представленной в *sc-коде*) сводится к *склеиванию* некоторых *sc-элементов* нового *sc-текста* с синонимичными им *sc-элементами*, входящими в состав заданного *sc-текста*. Задача погружения нового *sc-текста* сводится к задаче построения множества пар синонимичных *sc-элементов*, один из которых входит в состав нового погружаемого *sc-текста*, а второй – в состав заданного *sc-текста*. Установление пар синонимичных *sc-элементов* на начальном этапе осуществляется путём поиска пар *sc-элементов*, у которых совпадают согласованные внешние имена. На следующем этапе синонимичные *sc-элементы* выявляются путём логических рассуждений.

Для упрощения установления пар синонимичных *sc-элементов* некоторые высказывания о несуществовании, о существовании и единственности, о существовании заданного конечного числа структур заданного вида можно переформулировать с явным введением отношения синонимии *sc-элементов*. Так, например, вместо утверждения: «Для каждой пары точек существует единственная проходящая через них прямая» можно использовать следующую формулировку: «Если прямые  $pi$  и  $pj$  проходят через точки  $ti$  и  $tj$ , то либо  $pi = pj$ , либо  $ti = tj$ , либо  $ti \notin pi$ , либо  $ti \notin pj$ , либо  $tj \notin pi$ , либо  $tj \notin pj$ ». Формальная запись данного утверждения на языке SCg, являющемся графическим вариантом внешнего отображения текстов *sc-кода*, представлена на рисунке 1. Подробное описание примера погружения *sc-текста* в БЗ, представленную также в *sc-коде*, приведено в [15].

*Выравнивание понятий*, используемых в новом интегрируемом *sc-тексте*, с понятиями, используемыми в заданном интегрирующем *sc-тексте*, осуществляется следующим образом.

- Заданный интегрирующий *sc-текст* должен явно содержать информацию о текущем состоянии использования:
  - каждого известного понятия, используемого либо непосредственно в БЗ, либо внешними субъектами, информация от которых может поступать на вход БЗ;

- каждого внешнего знака (чаще всего термина, имени), соответствующего каждому используемому понятию, а также некоторым общеизвестным сущностям, которые не являются понятиями.
- Интегрируемый текст должен:
  - максимально возможным образом использовать согласованные понятия и соответствующие им согласованные внешние знаки (термины, имена);
  - включать в себя определения всех понятий, которые являются новыми, неизвестными в интегрирующем тексте (при этом в определении должны использоваться только те понятия, которые известны интегрируемому тексту).
- Для решения задачи *выравнивания* используемых понятий для текущего состояния БЗ и для нового вводимого в эту БЗ текста все используемые в БЗ понятия делятся на согласованные, устаревшие, устаревающие, отклонённые, вводимые новые понятия.

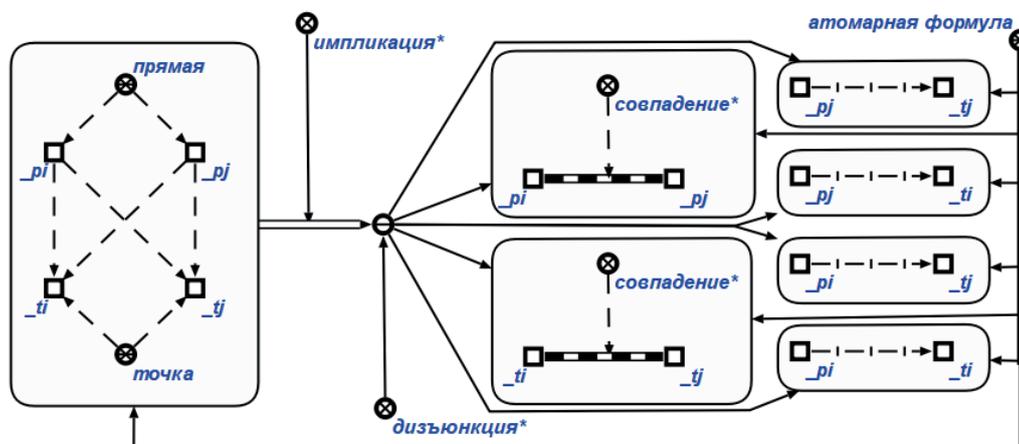


Рисунок 1 – Пример формальной записи логического утверждения

Таким образом, процесс выравнивания понятий, целью которого является сведение всех понятий, используемых в интегрируемом *sc*-тексте, к согласованным понятиям БЗ, осуществляется в условиях постоянного изменения статуса используемых понятий и постоянного увеличения числа таких понятий.

### 3.2. Унификация и совместимость различных моделей решения задач

Предлагаемый подход к повышению уровня совместимости (интегрируемости) различных *моделей решения задач* заключается в следующем [24]:

- вся информация, хранящаяся в памяти каждого *решателя задач*, представляется в форме смыслового представления этой информации (в *sc*-коде);
- решение каждой задачи осуществляется коллективом агентов, работающих над общей для них смысловой памятью и выполняющих интерпретацию хранимых в этой же памяти навыков (указанные агенты названы *sc*-агентами);
- интеграция двух разных моделей решения задач сводится:
  - к объединению памяти моделей;
  - к интеграции *sc*-текстов, хранимых в памяти моделей, путём взаимного погружения этих *sc*-текстов друг в друга;
  - к объединению множеств агентов, входящих в составы моделей.

Унификация моделей решения задач путём приведения этих моделей к виду *sc*-моделей повышает уровень совместимости этих моделей благодаря наличию прозрачной процедуры интеграции *sc*-текстов и тривиальной процедуры объединения множеств *sc*-агентов. Просто-

та процедуры объединения множеств *sc*-агентов, соответствующих разным моделям решения задач, обусловлена тем, что непосредственного взаимодействия между этими агентами нет, а инициирование каждого из них определяется самим агентом, а также текущим состоянием хранимой в памяти информации. Основными преимуществами использования *многоагентного подхода* [1, 25] являются автономность агентов и децентрализация обработки вносимых изменений. Многоагентная обработка БЗ имеет ряд недостатков:

- знания агента представляются при помощи узкоспециализированных языков, не предназначенных для представления знаний в широком смысле и онтологий в частности;
- в большинстве современных многоагентных систем взаимодействие агентов осуществляется путём обмена сообщениями непосредственно от агента к агенту;
- среда, с которой взаимодействуют агенты, уточняется отдельно разработчиком для каждой многоагентной системы, что приводит к несовместимости многоагентных систем.

Перечисленные недостатки предлагается устранять за счёт использования следующих принципов:

- коммуникацию агентов осуществлять путём спецификации действий, выполняемых агентами и направленных на решение задач;
- в роли внешней среды для агентов должна выступать общая память КС;
- спецификацию каждого агента описывать средствами языка представления знаний;
- синхронизацию деятельности агентов осуществлять на уровне выполняемых ими процессов;
- каждый информационный процесс в любой момент времени должен иметь ассоциативный доступ к необходимым фрагментам БЗ, хранящейся в общей памяти.

### 3.3. Семантическая совместимость КС

Уровень совместимости КС определяется трудоёмкостью реализации процедур интеграции знаний этих систем, а также трудоёмкостью и глубиной интеграции входящих в эти системы *решателей задач*.

Совместимые КС – это КС, для которых существует автоматически выполняемая процедура их интеграции, в рамках которой каждая исходная КС в процессе своего функционирования может свободно использовать знания, входящие в состав другой исходной КС.

Целостная КС – это решатель задач, интегрировавший несколько моделей решения задач и обладающий средствами взаимодействия с внешней средой.

Чтобы повысить уровень совместимости КС, необходимо преобразовать их к виду многоагентных систем, работающих с общей смысловой памятью, в которой информация представлена текстами *sc*-кода. Такие унифицированные КС далеко не всегда целесообразно объединять в более крупные КС. Иногда целесообразнее их объединять в *коллективы взаимодействующих КС*. Но при создании таких коллективов КС унификация и совместимость таких систем также важны. Противоречия между КС, входящими в коллектив, можно обнаруживать путём анализа виртуальной объединённой БЗ этого коллектива. Непротиворечивость указанной виртуальной БЗ можно считать одним из критериев семантической совместимости систем, входящих в соответствующий коллектив.

Ключевым отличием рассматриваемого подхода к разработке КС по сравнению с существующими [5, 7, 26] является обеспечение совместимости ИС и возможность автоматизации процесса их интеграции. Решение проблемы совместимости в таком контексте позволит обеспечить переход от современных ИС к гибридным ИС, способным наращивать и совершенствовать свои функциональные возможности. Подробно модели, методы и средства разработки гибридных БЗ на основе предложенного подхода рассмотрены в [21], модели, методы и средства разработки гибридных решателей задач - в [27].

### 3.4. Достоинства смыслового представления информации

Переход к *смысловому представлению информации* в памяти КС целесообразен по следующим причинам:

- смысловое представление информации есть объективный способ представления информации;
- в рамках смыслового представления существенно упрощается процедура интеграции знаний и погружения новых знаний в БЗ;
- упрощается процедура приведения различного вида знаний к общему виду;
- упрощается процедура интеграции различных решателей задач и КС;
- упрощается автоматизация процесса поддержки семантической совместимости для КС в условиях их постоянного совершенствования;
- на основе предложенного смыслового представления информации упрощается интеграция различных дисциплин в области ИИ.

## 4 Семантические КС и технологии

Переход к смысловому представлению информации в памяти КС фактически преобразует современные КС в *семантические КС*, которые являются этапом их эволюции, направленным на обеспечение высокого уровня обучаемости и совместимости КС.

Архитектура *семантических КС* практически совпадает с архитектурой ИС, основанных на знаниях. Отличие заключается в том, что в *семантических КС* БЗ имеет смысловое представление, а интерпретатор знаний и навыков представляет собой коллектив агентов, осуществляющих обработку БЗ.

Предлагаемая технология разработки семантических КС названа *Технологией OSTIS* (Open Semantic Technology for Intelligent Systems) [23]. В основе этой технологии лежит *sc*-код – разработанный стандарт смыслового представления информации в памяти КС. *Технология OSTIS* – это:

- *стандарт* семантических КС, обеспечивающий семантическую совместимость систем;
- *методы построения* таких КС и их совершенствования в процессе их эксплуатации;
- *средства построения* и совершенствования этих систем (языковые средства, библиотеки типовых технических решений, инструментальные средства).

Принципы, лежащие в основе *Технологии OSTIS* [22]:

- ориентация на смысловое однозначное представление знаний в виде семантических сетей, имеющих базовую теоретико-множественную интерпретацию;
- использование ассоциативной графодинамической модели памяти;
- применение агентно-ориентированной модели обработки знаний;
- реализация в виде интеллектуальной *Метасистемы IMS.ostis* [23].

Архитектура КС, разрабатываемых по *Технологии OSTIS*, чётко стратифицирована на две подсистемы:

- БЗ, которая представляет собой полную семантическую модель ИС (*sc*-модель ИС или *sc*-модель БЗ ИС);
- базовый универсальный интерпретатор семантической модели ИС, хранимой в ее памяти (интерпретатор *sc*-модели БЗ ИС).

При наличии эффективного варианта реализации интерпретатора *sc*-моделей БЗ разработка *ostis*-системы сводится к проектированию *sc*-модели БЗ разрабатываемой системы [21], которая включает в себя:

- *sc*-модель интегрированного решателя задач разрабатываемой *ostis*-системы [27];
- *sc*-модель интегрированного интерфейса разрабатываемой *ostis*-системы;

- часть *sc*-модели БЗ разрабатываемой *ostis*-системы, которая не входит ни в *sc*-модель интегрированного решателя задач *ostis*-системы, ни в *sc*-модель интегрированного интерфейса *ostis*-системы.

Проектирование решателя задач ИС заключается в проектировании знаний специального вида — навыков и спецификаций агентов, осуществляющих интерпретацию этих навыков при решении конкретных задач. Проектирование интерфейса ИС сводится к проектированию знаний, представляющих собой семантическую модель встроенной ИС, ориентированной на решение интерфейсных задач. Важнейшее место в комплексе средств разработки ИС занимает встраиваемая типовая ИС комплексной поддержки проектирования БЗ.

Реализация универсального интерпретатора *sc*-моделей КС может иметь большое число вариантов – как программно, так и аппаратно реализованных. Логическая архитектура универсального интерпретатора *sc*-моделей КС обеспечивает независимость проектируемых КС от многообразия вариантов реализации интерпретатора их моделей.

Аппаратно реализованный интерпретатор семантических моделей (*sc*-моделей) КС представляет собой *семантический ассоциативный компьютер*, который имеет ряд существенных отличий от современных традиционных компьютеров и решений в области хранения и обработки семантических сетей [28].

## 5 Экосистема OSTIS

*Технология OSTIS* ориентирована на разработку семантических КС, обладающих высоким уровнем обучаемости и высоким уровнем семантической *совместимости*. Для реализации этого необходима среда, социотехническая инфраструктура - *Экосистемой OSTIS*, которая представляет собой коллектив взаимодействующих (через сеть Интернет):

- семантических КС, построенных по стандартной технологии *OSTIS* (*ostis*-системы);
- пользователей *ostis*-систем;
- КС, не являющихся *ostis*-системами, но рассматриваемых ими в качестве дополнительных ИР или сервисов.

Задачами *Экосистемы OSTIS* являются:

- оперативное внедрение всех согласованных изменений стандарта *ostis*-систем;
- поддержка высокого уровня взаимопонимания систем, входящих в *Экосистему OSTIS*, и их пользователей;
- корпоративное решение различных сложных задач, требующих координации деятельности нескольких *ostis*-систем и пользователей.

Основное назначение *Экосистемы OSTIS* – обеспечить совместимость КС, входящих в неё как на этапе их разработки, так и в ходе их эксплуатации. *Экосистема OSTIS* является формой реализации, совершенствования и применения *Технологии OSTIS* и, следовательно, является формой создания, развития, самоорганизации семантически совместимых КС и включает в себя необходимые для этого ресурсы – информационные, технологические, кадровые, организационные, инфраструктурные.

## 6 Примеры использования Технологии OSTIS

### 6.1. Системы автоматизации рецептурного производства

Одним из важнейших направлений применения технологий ИИ является сфера автоматизации производства [31, 32]. *Технология OSTIS* активно используется для разработки систем автоматизации производства и информационного обслуживания сотрудников предпри-

ятия ОАО «Савушкин продукт» (г. Брест). Важной частью системы является формальная модель стандарта рецептурного производства ISA-88, представленная в виде совокупности sc-моделей предметных областей (PrO) и их онтологий (рисунок 2).

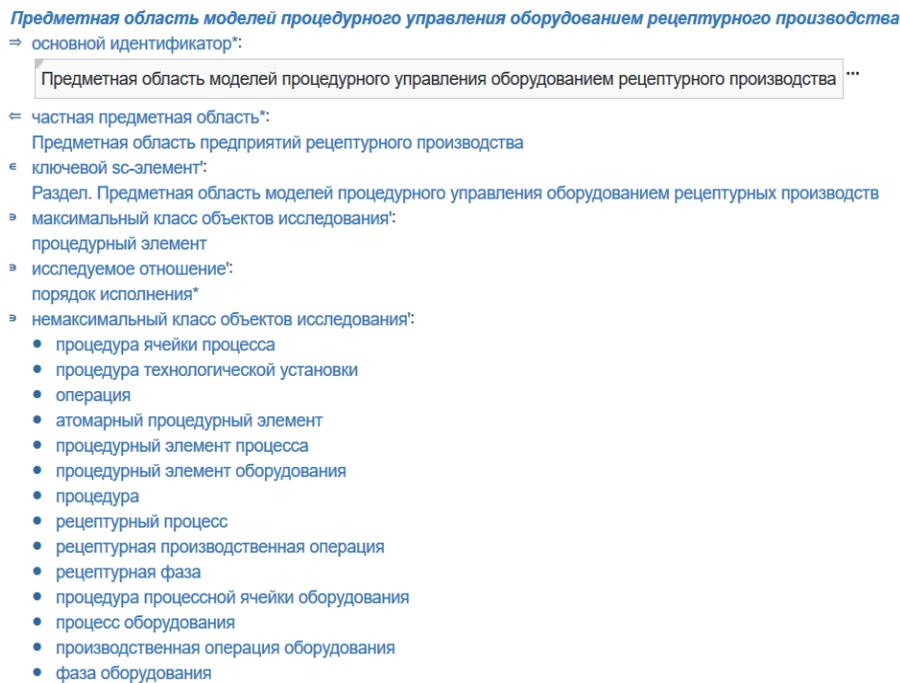


Рисунок 2 – Фрагмент формальной модели стандарта ISA-88

Формализация стандарта позволяет, с одной стороны, строить формальные модели предприятия, соответствующие данному стандарту (рисунок 3), с другой стороны – автоматизировать эволюцию описания стандарта и обеспечить информационную поддержку сотрудников предприятия. Подробно результаты применения *Технологии OSTIS* для автоматизации рецептурного производства описаны в работе [31].

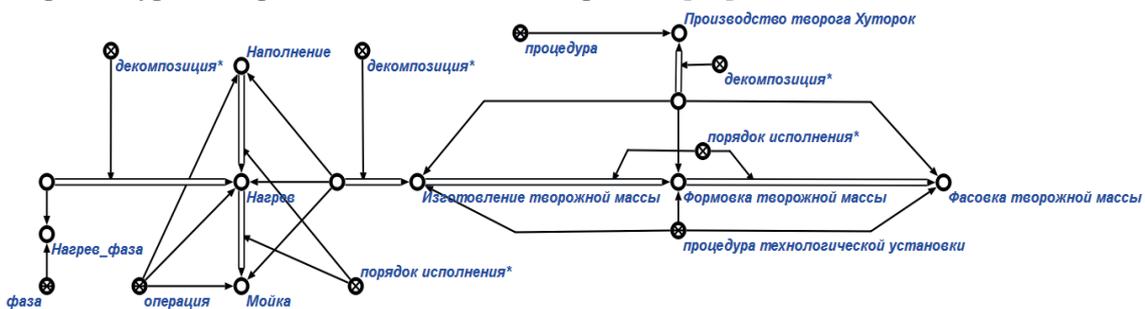


Рисунок 3 – Фрагмент модели производства [31]

## 6.2. Интеграция нейросетевых моделей с БЗ

Одним из перспективных вариантов гибридации на основе *Технологии OSTIS* является интеграция нейросетевых моделей с БЗ [32]. Такого рода интеграция оказывается актуальной при решении задач, связанных с принятием решений на основе результатов работы систем машинного зрения. Вариант архитектуры такой системы приведён на рисунке 4. На рисунке 5 показан пример представления обученных нейронных сетей в БЗ. Такое представление позволяет системе автоматически выбирать и применять уже обученную сеть в зависимости от класса текущей задачи.



Рисунок 4 – Архитектура системы принятий решений

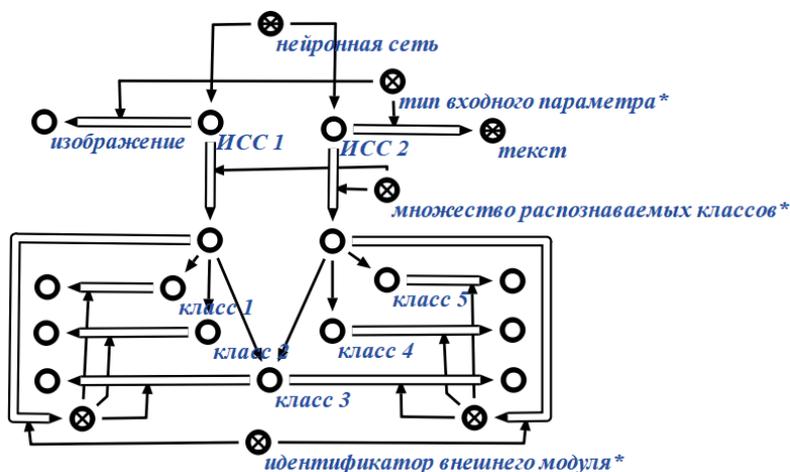


Рисунок 5 – Представление нейронной сети в базе знаний

### 6.3. Интеллектуальные обучающие системы

Одним из направлений использования *Технологии OSTIS* являются интеллектуальные обучающие системы. БЗ такой системы содержит в структурированном виде информацию о понятиях и объектах соответствующей Про, классах решаемых задач и способах их решения, вспомогательные материалы, такие как примеры и упражнения, и многое другое. На рисунке 6 показан верхний уровень иерархии Про для обучающей системы по геометрии Евклида.

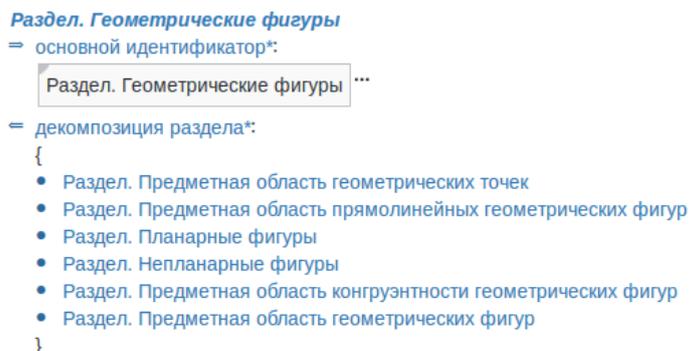


Рисунок 6 – Фрагмент структуры БЗ обучающей системы по геометрии Евклида

Система включает решатель задач и редактор геометрических чертежей, позволяющий пользователю создавать условия задач в привычном для него виде. На рисунках 7 и 8 показаны соответственно пример работы чертёжника и результат трансляции изображённого чертежа в память системы.

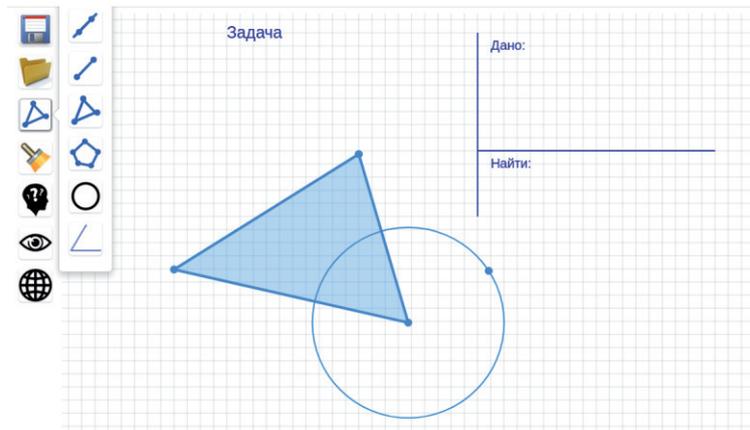


Рисунок 7 – Пример работы редактора геометрических чертежей

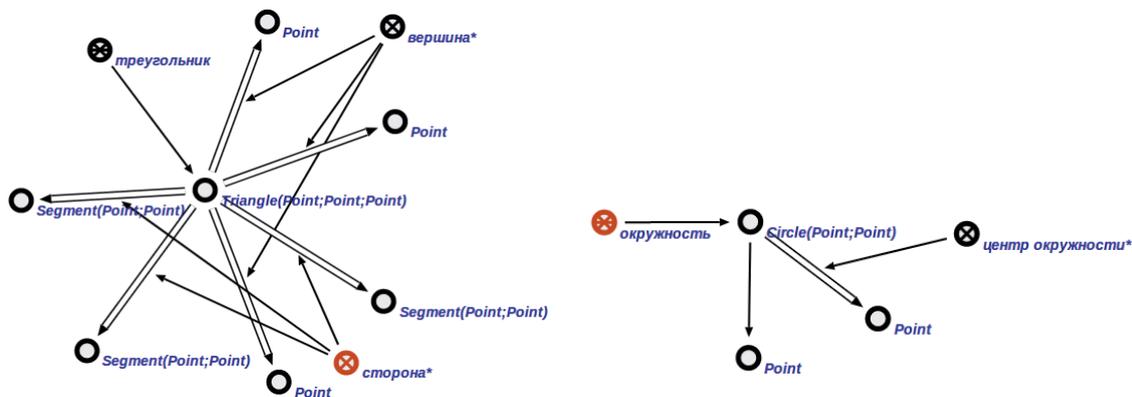


Рисунок 8 – Результат трансляции чертежа в память системы

#### 6.4. Интеллектуальные гиды

Предложенный подход к представлению и обработке информации хорошо подходит для использования в динамических ПрО, характеризующихся наличием большого числа так называемых НЕ-факторов, таких как неполнота, недостоверность, нечёткость представляемой информации. Одной из таких областей является область истории. С использованием *Технологии OSTIS* разрабатывается система-гид по городу Минску, содержащая исторические сведения о городе, его улицах, зданиях, исторических личностях и организациях. Описание учитывает динамику сущностей во времени, например, различные периоды жизни исторических деятелей, изменение названий улиц, расположения домов, организаций и т.д. Благодаря этому разрабатываемая система позволяет автоматически получать информацию об одних и тех же сущностях в различных временных срезах. На рисунке 9 показан пример описания исторической личности в БЗ системы.

Для удобства использования системы в качестве гида-экскурсовода реализован картографический интерфейс, отображающий объекты, представленные в БЗ, и их описание (рисунок 10).

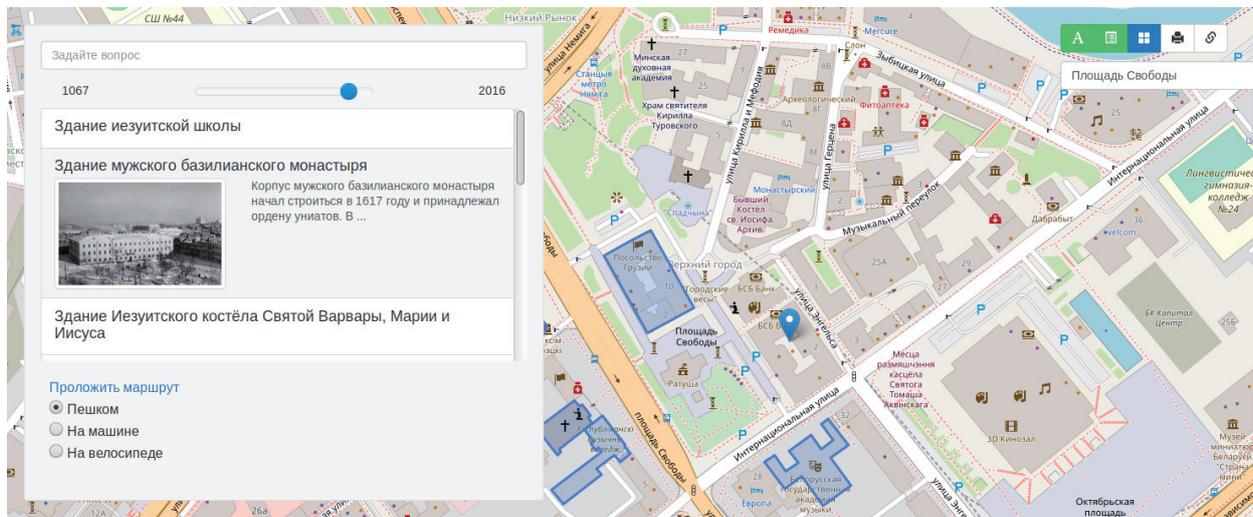
**Гуттен-Чапский Кароль Эмерилович**

- ⇒ основной идентификатор\*:
  - Гуттен-Чапский Кароль Эмерилович ...
  - € Русский язык
  - Гутэн-Чапскі Кароль Эмерыкавіч ...
  - € Белорусский язык
  - Hutten-Czapsky Karol' Emierikovich ...
  - € Английский язык
- ⇒ системный идентификатор\*:
  - Hutten\_Czapsky\_Emerickovich ...
- ⇒ городской голова\*:сотрудник\*:
  - Минское городское общественное управление
- ⇒ основатель\*:
  - Минская больница для проституток
  - Минский городской ломбард
  - Минский городской приют для бездомных
- ⇒ социальная принадлежность\*:
  - титулованное дворянство
  - родовое дворянство
- ⇒ место учёбы\*:
  - Здание гимназии Святой Анны
  - Здание Императорского Дерптского университета
- ⇒ супруг\*:
  - Пусловская Мария Леонтина
- ⇒ родитель\*:
  - Чапский Эмерик Август Войтех
  - Чапский Леон Богдан
  - Чапская Елизавета Карловна
- ⇒ родитель\*:
  - Гуттен-Чапская Анна Юрьевна
  - Гуттен-Чапский Эмерик Карлович
- ⇒ род\*:
  - Гуттен-Чапские
- ⇒ дата смерти\*:
  - 17 января 1904 года
- ⇒ дата рождения\*:
  - 15 мая 1860 года

- ⇒ дата рождения\*:
  - 15 мая 1860 года
- ⇒ сотрудник\*:
  - Министерство финансов Российской империи
- ⇒ второе имя\*:
  - Кароль
  - Александр
- ⇒ фамилия\*:
  - Гуттен-Чапский
- ⇒ имя\*:
  - Ян
- ⇒ владелец\*:
  - деревня Зубаревичи
  - деревня Станково
  - Здание 1-ого Минского пивзавода «Оливария»
  - деревня Прусиново
  - деревня Негорелое
- ⇒ владелец\*:
  - Дом Загорской(47)
- € ключевой сс-элемент\*:
  - Изображение Гуттен-Чапского Кароля Эмериловича
- ⇒ трансляция сс-текста\*:
  - ...
  - пример':
    - 

- € член':
  - католическая церковь
- € учащийся':
  - Императорский Дерптский университет
  - Гимназия Святой Анны
- € мужчина

Рисунок 9 – Описание исторической личности в БЗ



The image shows a digital map interface with a search bar at the top left containing the number '1067'. Below the search bar, there are three historical entries:

- Здание иезуитской школы**
- Здание мужского базилианского монастыря**: Корпус мужского базилианского монастыря начал строиться в 1617 году и принадлежал ордену униатов. В ...
- Здание Иезуитского костёла Святой Варвары, Марии и Иисуса**

At the bottom left, there are navigation options: "Проложить маршрут" (Route) with radio buttons for "Пешком" (On foot), "На машине" (By car), and "На велосипеде" (By bicycle).

The map itself shows a city grid with various landmarks, including "Площадь Свободы" (Freedom Square) and "Музыкальный переулок" (Musical Alley).

Рисунок 10 – Картографический интерфейс системы-гида

## 7 Заключение

Основными направлениями решения проблемы информационной совместимости КС являются:

- *семантическая ИТ*, в основе которой лежит смысловое представление информации в памяти КС;
- *самоорганизующаяся экосистема*, поддерживающая эволюцию и совместимость КС, построенных по семантической ИТ.

Текущий этап развития ИТ знаменует переход к *семантическим ИТ* и к соответствующей самоорганизующейся экосистеме, состоящей из *семантических КС*.

Развитию семантических ИТ и семантических КС способствуют открытые проекты, например, проект развития *Метасистемы IMS.ostis*, предоставляющий возможность каждому желающему внести свой вклад в развитие семантических ИТ.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке БРФФИ-РФФИ (№Ф18Р-220).

## Список источников

- [1] *Тарасов, В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 348 с.
- [2] Нечёткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыршин [и др.]; под ред. Н.Г. Ярушкиной. — М.: Физматлит, 2007. — 208 с.
- [3] *Колесников, А.В.* Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор / А.В. Колесников, И.А. Кириков, С.В. Листопад. — М.: Ин-т проблем информатики Рос. акад. наук, 2014. — 189 с.
- [4] *Борисов, А.Н.* Построение интеллектуальных систем, основанных на знаниях, с повторным использованием компонентов / А.Н. Борисов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2014) : материалы IV Междунар. техн.-конф., Минск, 20–22 февр. 2014г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. — Минск, 2014. — С. 97–102.
- [5] *Грибова, В.В.* Проект IASaaS. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений / В.В. Грибова [и др.] // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2011. — № 1. — С. 27–35.
- [6] *Гладун, А.Я.* Репозитории онтологии как средство повторного использования знаний для распознавания информационных объектов / А.Я. Гладун, Ю.В. Рогущина // Онтология проектирования. — 2013. — № 1. — С.35–50.
- [7] *Рыбина, Г.В.* Основы построения интеллектуальных систем / Г.В. Рыбина. — М.: Финансы и статистика : Инфра-М, 2010. — 430 с.
- [8] *Слободюк, А.А.* О подходе к созданию онтологий на основе системно-объектных моделей предметной области / А.А. Слободюк, С.И. Маторин, С.Н. Четвериков // Науч. ведомости Белгор. гос. ун-та. Сер.: Экономика. Информатика. — 2013. — № 22. — С. 186–193.
- [9] *Gomez-Perez, A.* Scenarios for building ontology networks within the neon methodology / A. Gomez-Perez, M.C. Suarez-Figueroa // Proceedings of the Fifth International Conference on Knowledge Capture (K-CAP 2009) / Assoc. for Computing Machinery, Spec. Interest Group on Artificial Intelligence. — New York, 2009. — P. 183–184.
- [10] *Палагин, А.В.* Проблемы трансдисциплинарности и роль информатики / А.В. Палагин // Кибернетика и системный анализ. — 2013. №5. — С. 3–13.
- [11] *Янковская, А.Е.* Анализ данных и знаний на основе конвергенции нескольких наук и научных направлений / А.Е. Янковская // Международная конференция «Интеллектуализация обработки информации» (ИОИ-8), Кипр, Пафос, 17–24 октября 2010 г. — С.196–199.
- [12] *Глоба, Л.С.* Модели и методы интеграции информационных и вычислительных ресурсов / Л.С. Глоба, Р.Л. Новогрудская // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012) : материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 февр. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. — Минск, 2012. — С. 447–452.

- [13] **Осипов, Г.С.** Приобретение знаний интеллектуальными системами: основы теории и технологии / Г.С. Осипов. — М.: Наука : Физматлит, 1997. — 112 с.
- [14] **Hazman, M.** Survey of ontology learning approaches / M. Hazman, S. El-Beltagy, A. Rafea // Intern. J. of Computer Applications. — 2011. — Vol. 22, № 9. — P. 36–43.
- [15] **Golenkov, V.** From training intelligent systems to training their development tools / V. Golenkov, N. Guliakina, N. Grakova, I. Davydenko, V. Nikulenkа, A. Ereemeev, V. Tarassov // Open semantic technologies for intelligent systems, 2018. - P.81–98.
- [16] Standards of World Wide Web Consortium. — <https://www.w3.org/standards/>.
- [17] **Тузовский, А.Ф.** Интеграция информации с использованием технологий Semantic Web / А.Ф. Тузовский, В.З. Ямпольский // Проблемы информатики. — 2011. — № 2. — С.51–58.
- [18] **Мартынов, В.В.** Семиологические основы информатики / В.В. Мартынов – Минск: Наука и техника, 1974. – 192 с.
- [19] **Мельчук, И.А.** Как начиналась математическая лингвистика / И.А. Мельчук // Очерки истории информатики России, 1998 – С. 358-370.
- [20] **Мельчук, И.А.** Опыт теории лингвистических моделей Смысл-Текст, Школа «Языки русской культуры» / И.А. Мельчук. - М.: 1999 — 346 с.
- [21] **Davydenko, I.** Semantic models, method and tools of knowledge bases coordinated development based on reusable components / I. Davydenko // Open semantic technologies for intelligent systems, 2018. - P.99–118,
- [22] **Голенков, В.В.** Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Часть 1: Принципы создания / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина // Онтология проектирования, 2014, № 1(11). - С.42–64.
- [23] IMS.ostis metasytem. – <https://ims.ostis.net>.
- [24] **Голенков, В.В.** Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Часть 2: Унифицированные модели проектирования / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина // Онтология проектирования, 2014, № 4(14). - С.34–53.
- [25] M. Wooldridge, An introduction to multiagent systems. Chichester : J. Wiley, 2009.
- [26] **Максимов, Н.В.** Семантическое ядро цифровой платформы / Н.В. Максимов, О.Л. Голицина, М.Г. Ганченкова, Д.В. Санатов, А.В. Разумов // Онтология проектирования. - 2018. - № 3 (29). - С. 412-426. – DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-412-426.
- [27] **Shunkevich, D.** Agent-oriented models, method and tools of compatible problem solvers development for intelligent systems / D. Shunkevich // Open semantic technologies for intelligent systems, 2018. - P.119–132,
- [28] **Hauptert, J.** The object memory server for semantic product memories. SemProM / J. Hauptert, M. Schneider // Springer, 2013. - P.175–189.
- [29] **Grangel-González, I.** Towards a Semantic Administrative Shell for Industry 4.0 Components / I. Grangel-González, L. Halilaj, G. Coskun, S. Auer, D. Collarana, M. Hofmeister // Proc. of IEEE Tenth International Conference on Semantic Computing (ICSC). – 2016. - P. 230-237.
- [30] **Kharlamov, E.** Capturing Industrial Information Models with Ontologies and Constraints / E. Kharlamov, B. Cuenca Grau, E. Jiménez-Ruiz, S. Lamparter, G. Mehdi, M. Ringsquandl, Y. Nenov, S. Grimm, M. Roshchin, I. Horrocks // Proc. of International Semantic Web Conference. – 2016. - P. 325-343.
- [31] **Голенков, В.В.** Проектирование предприятий рецептурного производства на основе онтологий / В.В. Таберко, Д.С. Иванюк, В.В. Голенков, К.В. Русецкий, Д.В. Шункевич, И.Т. Давыденко, В.В. Захаров, В.П. Ивашенко, Д.Н. Корончик // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №2(24). - С. 123-144. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-123-144.
- [32] **Головко, В.А.** Интеграция искусственных нейронных сетей с базами знаний / В.А. Головко, В.В. Голенков, В.П. Ивашенко, В.В. Таберко, Д.С. Иванюк, А.А. Крощенко, М.В. Ковалев // Онтология проектирования. – 2018 – Т.8, №3(29). – С.366-386. – DOI: 10/18287/2223-9537-2018-8-3-366-386.
-

## ONTOLOGICAL DESIGN OF HYBRID SEMANTICALLY COMPATIBLE INTELLIGENT SYSTEMS BASED ON SENSE REPRESENTATION OF KNOWLEDGE

V. Golenkov<sup>1,a</sup>, N. Guliakina<sup>1,b</sup>, I. Davydenko<sup>1,c</sup>, D. Shunkevich<sup>1,d</sup>, A. Eremeev<sup>2,e</sup>

<sup>1</sup>Belarusian state university of informatics and radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russian Federation

<sup>a</sup>*golen@bsuir.by*, <sup>b</sup>*guliakina@bsuir.by*, <sup>c</sup>*ir.davydenko@gmail.com*, <sup>d</sup>*shunkevichdv@gmail.com*, <sup>e</sup>*YeremeevAP@mpei.ru*

### Abstract

The work is devoted to the problem of ensuring the semantic compatibility of intelligent systems. It is shown that ensuring the compatibility of intelligent systems and the development of relevant standards is a key direction in the development of intelligent systems design technologies. The concept of the sense representation of information in the memory of an intelligent system has been formally clarified, which ensures the unambiguity of the presentation of information using a given set of concepts. The possibility of the automatic integration of knowledge within the the sense representation of knowledge, which is reduced to the merging of synonymous signs, is shown. The possibility of automatic integration of various models of knowledge processing is shown, if these models are teams of agents, oriented on processing of knowledge, presented in the memory of intelligent systems in a sense form, and interacting with each other also through the specified memory. The concept of OSTIS Technology, focused on the development of semantic computer systems and implementing the specified principles of information representation and processing, is proposed. The concept of the OSTIS Ecosystem is proposed, which is a group of interacting intelligent systems built using the OSTIS Technology and supporting the evolution and compatibility of these intelligent systems during their operation within this ecosystem. The examples of the use of OSTIS Technology in the development of applied intelligent systems are considered.

**Keywords:** *intelligent systems, knowledge representation language, intelligent system model, component design, systems compatibility.*

**Citation:** *Golenkov VV, Guliakina NA, Davydenko IT, Shunkevich DV, Eremeev AP. Ontological design of hybrid semantically compatible intelligent systems based on sense representation of knowledge [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(1): 132-151. – DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-1-132-151.*

### Acknowledgment

This work was supported by the BRFFR and RFBR (№F18R-220).

### References

- [1] **Tarassov VB.** From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, computer science [In Russian]. — Moscow: Editorial URSS, 2002. — 348 p.
- [2] Fuzzy hybrid systems. Theory and practice [In Russian]. I. Z. Batyrshyn [and other]; ed. by N. G. Yaryshkina. — Moscow: Fizmalit, 2007. — 208 p.
- [3] **Kolesnikov AV, Kirikov IA, Listopad SV.** Hybrid Intelligent Systems with Self-Organization: Coordination, Consistency, Dispute [In Russian]. — Moscow: Institute of Informatics Problems RAS, 2014. — 189 p.
- [4] **Borisov AN.** Building intelligent knowledge-based systems with reusable components [In Russian]. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014): Materials IV Intern. tech.-conf., Minsk, 20–22 Feb. 2014г. / Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics; ed. by.: V.V. Golenkov [and other]. — Minsk, 2014. — P.97–102.
- [5] **Gribova VV.** Project IACPaaS. The complex for intelligent systems based on cloud computing [In Russian]. Artificial intelligence and decision making. 2011; 1: 27–35.
- [6] **Gladun AYA, Rogushina YuV.** Ontology repositories as a means of knowledge reuse for the recognition of information objects [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 1: 35–50.
- [7] **Rybina GV.** Basics of building intellectual systems: studies. Manual [In Russian]. - Moscow: Finance and Statistics: Infra-M, 2010. - 430 p.

- [8] **Slobodiuk AA, Matorin SI, Chetverikov SN.** On the approach to the creation of ontologies based on the system-object models of the domain [In Russian]. Scientific. statements Belgor. state un-that. Ser.: Economy. Computer science. 2013; 22: 186–193.
- [9] **Gomez-Perez A, Suarez-Figueroa MC.** Scenarios for building ontology networks within the neon methodology // Proceedings of the Fifth International Conference on Knowledge Capture (K-CAP 2009) / Assoc. for Computing Machinery, Spec. Interest Group on Artificial Intelligence. — New York, 2009. — P.183–184.
- [10] **Palagin AV.** Problems of transdisciplinarity and the role of informatics [In Russian]. Cybernetics and Systems Analysis. 2013; 5: 3-13.
- [11] **Yankovskaya AE.** Data and knowledge analysis based on the convergence of several sciences and scientific fields [In Russian]. International Conference «Intellectualization of Information Processing» (IIP-8), Cyprus, Paphos, 17–24 Oct 2010. – P.196-199.
- [12] **Globa LS, Novogrudskaya RL.** Models and methods of integration of information and computing resources [In Russian]. Open semantic technologies for designing intelligent systems (OSTIS-2012): Proceedings of the II Intern. scientific and technical Conf., Minsk, 16–18 Feb. 2012 / Belarusian. state University of Informatics and Radioelectronics; Editorial: V. V. Golenkov (ed.) [et al.]. - Minsk, 2012. - P.447–452.
- [13] **Osipov GS.** Acquisition of knowledge by intellectual systems: fundamentals of theory and technology [In Russian]. - Moscow: Science: Fizmatlit, 1997. - 112 p.
- [14] **Hazman M, El-Beltagy S, Rafea A.** Survey of ontology learning approaches // Intern. J. of Computer Applications. 2011; 22(9): 36–43.
- [15] **Golenkov V, Guliakina N, Grakova N, Davydenko I, Nikulenko V, Ereemeev A, Tarassov V.** From training intelligent systems to training their development tools // Open semantic technologies for intelligent systems, 2018: 81–98.
- [16] Standards of World Wide Web Consortium. — <https://www.w3.org/standards/>.
- [17] **Tuzovsky AF, Yampolsky VZ.** Integration of information using Semantic Web technologies [In Russian]. *Problems of Informatics*. 2011; 2: 51–58.
- [18] **Martynov VV.** Semiological foundations of computer science [In Russian]. - Minsk: Science and technology, 1974. – 192 p.
- [19] **Melchuk IA.** How did mathematical linguistics begin [In Russian]. Essays on the history of computer science in Russia, 1998. – P. 358-370.
- [20] **Melchuk IA.** Experience of the theory of linguistic models Meaning-Text, School «Languages of Russian culture» [In Russian]. - Moscow: 1999. — 346 p.
- [21] **Davydenko I.** Semantic models, method and tools of knowledge bases coordinated development based on reusable components // Open semantic technologies for intelligent systems, 2018: 99–118.
- [22] **Golenkov VV, Gulyakina NA.** Project of open semantic technology of the component design of intelligent systems. Part 1: Principles of creation [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 1(11): 42–64.
- [23] IMS.ostis metasystem. – <https://ims.ostis.net>.
- [24] **Golenkov VV, Gulyakina NA.** Project of open semantic technology of the component design of intelligent systems. Part 2: Unified Design Models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2014; 4(14): 34–53.
- [25] **Wooldridge M.** An introduction to multiagent systems. Chichester: J. Wiley, 2009.
- [26] **Maksimov NV, Golitsina OL, Ganchenkova MG, Sanatov DV, Razumov AV.** Semantic core of digital platform [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 412-426. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-412-426.
- [27] **Shunkevich D.** Agent-oriented models, method and tools of compatible problem solvers development for intelligent systems // Open semantic technologies for intelligent systems, 2018: 119–132.
- [28] **Hauptert J, Schneider M.** The object memory server for semantic product memories. SemProM, Springer, 2013. - P.175–189.
- [29] **Grangel-González I, Halilaj L, Coskun G, Auer S, Collarana D, Hofmeister M.** Towards a Semantic Administrative Shell for Industry 4.0 Components // Proc. of IEEE Tenth International Conference on Semantic Computing (ICSC). – 2016. - P.230-237.
- [30] **Kharlamov E, Cuenca Grau B, Jiménez-Ruiz E, Lamparter S, Mehdi G, Ringsquandl M, Nenov Y, Grimm S, Roshchin M, Horrocks I.** Capturing Industrial Information Models with Ontologies and Constraints // Proc. of International Semantic Web Conference. – 2016. - P.325-343.
- [31] **Golenkov VV, Taberko VV, Ivanyuk DS, Rusetski KV, Shunkevich DV, Davydenko IT, Zakharov VV, Ivashenko VP, Koronchik DN.** Designing Batch Manufacturing Enterprises Using Ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(2): 123-144. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-123-144.
- [32] **Golovko VA, Golenkov VV, Ivashenko VP, Taberko VV, Ivaniuk, DS, Kroshchanka AA, Kovalev MV.** Integration of artificial neural networks and knowledge bases [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 366-386. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-366-386.

## Сведения об авторах



**Голенков Владимир Васильевич**, 1949 г. рождения. В 1971 г. с отличием окончил физический факультет Белорусского государственного университета, д.т.н. (1996), профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники БГУИР, инициатор ежегодной международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 100 работ в области семантических технологий.

**Vladimir Vasilevich Golenkov** was born in 1949. In 1971 he graduated from the physics department of Belarusian State University with honors diploma, Dr. of science (1996), professor. The head of the department of Intelligent information technologies of Belarusian

State University of Informatics and Radioelectronics, initiator of the annual international science and technical conference «Open Semantic technologies for Intelligent Systems» (OSTIS), member of Russian association of artificial intelligence. The list of his published works consists of more than 100 articles on the various aspects of semantic approach in the intelligent systems design.

**Гулякина Наталья Анатольевна**, 1952 г. рождения. В 1974 г. окончила факультет прикладной математики Белорусского государственного университета, к.ф.-м.н, доцент, заместитель заведующего кафедрой интеллектуальных информационных технологий БГУИР, член программного комитета конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», автор ряда публикаций по вопросам интеллектуальных информационных технологий, автор семи учебно-методических пособий.



**Natalia Anatolievna Guliakina** was born in 1952. In 1971 she graduated from the faculty of applied mathematics of Belarusian State University, Ph.D., and assistant professor. Deputy head of the department of Intelligent information systems of Belarusian State University of Informatics and Radio-electronics, a member of Program Committee of the international conference «Open Semantic technologies for Intelligent Systems» (OSTIS), author of several publications on artificial intelligence systems design, author of seven educational toolkits.



**Давыденко Ирина Тимофеевна**, 1987 г. рождения. В 2010 г. окончила БГУИР по специальности «Искусственный интеллект», к.т.н., доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий БГУИР. Имеет более 80 печатных работ в области семантических технологий.

**Irina Timofeevna Davydenko** was born in 1987. In 2010 she graduated from Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics majoring in Artificial intelligence. Ph.D. Associate Professor in Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Has over 80 published works on the subject of semantic technologies.

**Шункевич Даниил Вячеславович**, 1990 г. рождения. В 2012 г. с отличием окончил БГУИР по специальности «Искусственный интеллект», к.т.н., доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий БГУИР. Имеет более 60 печатных работ в области семантических технологий.



**Daniil Vyacheslavovich Shunkevich** was born in 1990. In 2012 he graduated from Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics with honors diploma majoring in Artificial intelligence. Ph.D. Associate Professor in Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Has over 60 published works on the subject of semantic technologies.



**Еремеев Александр Павлович**, 1948 г. рождения. Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной математики МЭИ, лауреат премии Президента РФ в области образования, действительный член Российской академии естественных наук. Сфера научных интересов: искусственный интеллект, принятие решений, системы поддержки принятия решений

**Aleksander Pavlovich Eremeev** was born in 1948. Dr. of science, professor. The head of the department of Applied Mathematics MEI, winner of the President of the Russian Federation in the field of education, full member of the Russian Academy of Natural Sciences. Research Interests: Artificial Intelligence, Decision Making, Decision Support Systems.