

# Методы и средства обеспечения совместимости компьютерных систем

Vladimir Golenkov, Natalia Guliakina, Irina Davydenko  
Belarussian State University  
Informatics and Radioelectronics  
Email: golen@bsuir.by, guliakina@bsuir.by, davydenko@bsuir.by

Aleksandr Ereemeev  
The department of applied mathematics  
National Research University "MEI"  
Email: eremeev@appmat.ru

**Аннотация**—В работе рассмотрены основные актуальные проблемы в области разработки современных компьютерных систем, в частности – проблема обеспечения информационной совместимости компьютерных систем. Предложен подход к их решению, основанный на использовании Открытой семантической технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS).

## I. Введение

До настоящего времени традиционные информационные технологии и технологии искусственного интеллекта развивались **независимо друг от друга**.

Сейчас настало время **фундаментального переосмысления** опыта использования и эволюции традиционных информационных технологий и их **интеграции** с технологиями искусственного интеллекта. Это необходимо для устранения целого ряда недостатков современных информационных технологий.

Опыт использования компьютерных систем для автоматизации различных видов человеческой деятельности показывает, что автоматизация беспорядка приводит к еще большему беспорядку, а безграмотная автоматизация хуже ее отсутствия. При этом, если автоматизация требует применения методов и средств искусственного интеллекта, то последствия безграмотной автоматизации могут быть еще более разрушительны.

Это значит, что прежде, чем приступить к автоматизации какой-либо деятельности (и, тем более, с применением средств искусственного интеллекта), необходимо построить качественную формальную модель этой деятельности (т.е. достаточно детальное целостное ее описание, но без излишеств).

В нашем докладе на конференции OSTIS-2018 [1] было рассмотрено ключевое свойство интеллектуальных систем - свойство их **обучаемости**, а также те свойства интеллектуальных систем, которые обеспечивают высокий уровень обучаемости (гибкость, стратифицированность, рефлексивность).

В данной работе будет рассмотрена ключевая на текущий момент проблема развития информационных технологий в целом и технологий искусственного интеллекта в частности - **проблема обеспечения информационной совместимости** компьютерных систем и в том числе интеллектуальных систем.

Актуальность решения этой проблемы обусловлена тем, что:

- информационная совместимость компьютерных систем существенно **повысит уровень их обучаемости** благодаря более эффективному восприятию опыта (знаний и навыков) от других компьютерных систем;
- появится возможность существенно **расширить многообразие** используемых в компьютерной системе знаний и навыков без необходимости разработки специальных средств их согласования. Это также повышает уровень обучаемости компьютерных систем и позволяет переходить к **гибридным, синергетическим** компьютерным системам;
- появится возможность создания **коллективов компьютерных систем**, использующих универсальные принципы организации взаимодействия между компьютерными системами на содержательном уровне;
- появится возможность не только разрабатывать совместимые компьютерные системы, но и автоматизировать процесс постоянной **поддержки совместимости компьютерных систем**. Необходимость указанной поддержки вызвана тем, что совместимость компьютерных систем в ходе их эксплуатации и эволюции может нарушаться. Следовательно, должны существовать средства перманентного восстановления совместимости компьютерных систем в условиях их постоянного изменения;
- появится возможность автоматизации процесса постоянной поддержки (восстановления) информационной **совместимости** компьютерных систем не только с другими компьютерными системами, но и **с их пользователями**;
- появится возможность существенно сократить сроки разработки новых компьютерных систем с помощью постоянно расширяемой **библиотеки многократно используемых компонентов компьютерных систем**, имеющих разный уровень сложности (вплоть до типовых встроенных подсистем) и различный вид (типичные встраиваемые знания, например, онтологии, широко используемые навыки, в частности, программы, интерфейсные подсистемы, обеспечивающие обмен сообщениями с внешними субъектами на заданном внешнем

языке).

Рассмотрим проблемы развития информационных технологий:

- в области традиционных компьютерных систем;
- в области интеллектуальных систем;
- в области информатизации научно-технической деятельности.

## II. Состояние и проблемы традиционных информационных технологий

Современное состояние традиционных информационных технологий в целом можно охарактеризовать как:

- иллюзию благополучия;
- иллюзию вселивия финансовых ресурсов в решении сложных технических задач;
- "вавилонское столпотворение" различных технических решений, о совместимости которых никто серьезно не задумывается;
- отсутствие комплексного системного подхода к автоматизации сложных видов проектной деятельности;
- отсутствие осознания того, что недостатки современных информационных технологий имеют фундаментальный, системный характер.

К недостаткам современных информационных технологий можно отнести:

- 1) Многообразие синтаксических форм представления одной и той же информации, т.е. многообразие семантически эквивалентных форм (языков) представления (кодирования) обрабатываемой информации (знаний) в памяти компьютерных систем. Отсутствие унификации представления различного вида знаний в памяти современных компьютерных систем приводит:
  - к многообразию семантически эквивалентных моделей решения задач (как процедурных, так и непроцедурных – функциональных, логических и т.д.), т.е. к дублированию моделей обработки информации, отличающихся не сутью способов решения задач, а формой представления обрабатываемой информации и формой представления способов (навыков) решения различных классов задач;
  - к дублированию семантически эквивалентных информационных компонентов компьютерных систем;
  - к многообразию форм технической реализации каждой используемой модели решения задач;
  - к семантической несовместимости компьютерных систем и, следовательно, к высокой трудоемкости их интеграции в системы более высокого уровня иерархии, требующей дополнительных усилий на трансляцию (конвертирование) информации, которой обмениваются разные интегрируемые системы и, следовательно, существенно ограничивающей эффективность совместного решения задач коллективом взаимодействующих

компьютерных систем. Трудоемкость процесса интеграции может быть существенно снижена за счет приведения интегрируемых компьютерных систем к некоторой унифицированной форме, поскольку в этом случае интеграция может быть осуществлена универсальным и автоматизированным способом;

- к существенному снижению эффективности применения методики компонентного проектирования компьютерных систем на основе библиотек многократно используемых компонентов (особенно, если речь идет о "крупных" компонентах, в частности, о типовых подсистемах) [2].

- 2) Недостаточно высокую степень обучаемости современных компьютерных систем в ходе их эксплуатации, следствием чего является высокая трудоемкость их сопровождения и совершенствования, а также недостаточно длительный их жизненный цикл.
- 3) Отсутствие возможности у экспертов реально влиять на качество разрабатываемых компьютерных систем. Опыт разработки сложных компьютерных систем показывает, что посредничество программистов между экспертами и проектируемыми компьютерными системами существенно искажает вклад экспертов. При разработке компьютерных систем следующего поколения доминировать должны не программисты, а эксперты, способные точно излагать свои знания.
- 4) Отсутствие семантической (смысловой) унификации интерфейсной деятельности пользователей компьютерных систем, что вместе с многообразием форм реализации пользовательских интерфейсов приводит к серьезным накладным расходам на усвоение пользовательских интерфейсов новых компьютерных систем.
- 5) Документация компьютерной системы не является важным компонентом самой компьютерной системы, определяющим качество функционирования этой системы, следствием чего является недостаточно высокая эффективность эксплуатации компьютерной системы из-за неполного и неэффективного использования возможностей эксплуатируемой компьютерной системы.

Преодолеть указанные недостатки можно только путем фундаментального переосмысления архитектуры и принципов организации сложных компьютерных систем. Основой такого переосмысления является устранение многообразия форм представления (кодирования) информации в памяти компьютерных систем.

Результатом такого переосмысления должен стать новый этап развития информационных технологий.

Преодоление недостатков современных компьютерных систем предполагает:

- унификацию представления обрабатываемой информации;
- функциональную унификацию (унификацию принципов обработки информации).

### III. Проблемы развития технологий искусственного интеллекта

Расширение областей применения компьютерных систем приводит к расширению многообразия автоматизируемых видов деятельности - управление предприятиями различного вида, управление организациями, управление сложными техническими системами, мультисенсорная интеграция и первичный анализ невербальной информации, распознавание, проектирование искусственных объектов различного вида, проектирование систем бизнес-процессов, направленных на воспроизводство спроектированных искусственных объектов, общение с пользователями (на естественных языках в текстовый и речевой форме, с помощью средств когнитивной графики), обучение пользователей, комплексное информационное обслуживание пользователей.

В свою очередь, расширение многообразия автоматизируемых видов деятельности приводит к расширению многообразия видов решаемых задач, видов методов и средств решения задач, видов используемой информации (видов знаний).

Так, например, повышение уровня автоматизации различных предприятий приводит к знанию-ориентированной организации их деятельности, а в перспективе - к знанию-ориентированной экономике. Это означает, что основой автоматизации предприятия становятся средства управления знаниями.

Из этого, в свою очередь, следует, что в перспективных системах управления предприятиями необходимо переходить от баз данных, обеспечивающих представление достаточно простых (фактографических) видов знаний, к базам знаний, в состав которых могут входить знания самого различного вида.

#### A. Эволюция компьютерных систем

Таким образом, расширение областей применения компьютерных систем требует перехода от традиционных компьютерных систем к системам, ориентированным на обработку широкого многообразия структурированной информации, а также на решение все более и более сложных задач. Следовательно, переход от традиционных компьютерных систем к интеллектуальным системам неизбежен. Более того, этот переход давно уже происходит. Это подтверждают такие направления эволюции компьютерных систем, как:

- переход от доминирования программ к доминированию обрабатываемой информации, т. е. компьютерным системам, управляемым данными;
- от слабоструктурированных данных к структурированным и независимым от программ, обрабатывающим эти данные, т. е. к базам данных;
- от данных к знаниям путем расширения семантических видов обрабатываемой информации, и далее к компьютерным системам, управляемым структурированными знаниями, и к компьютерным системам, управляемыми базами знаний;
- переход от неконтекстного решения задач, исходные данные для которых априори точно заданы, к решению

задач с активным использованием контекста этих задач, т. е. знаний о той предметной области, в рамках которой задача решается;

- переход и процедурных языков программирования низкого уровня к процедурным языкам программирования высокого уровня, и к непроцедурным языкам программирования (функциональным, логическим);
- переход от последовательных программ к параллельным;
- переход от синхронной обработки информации к асинхронной;
- переход от программ к исчислениям, к "мягким" вычислениям (нечетким логикам, генетическим алгоритмам, искусственным нейросетям);
- переход от программ, ориентированных на обработку данных, структуризация которых определяется соответствующими программами, к программам, ориентированным на обработку баз данных и далее баз знаний;
- переход от адресной памяти к ассоциативной памяти;
- переход от линейной памяти к нелинейной (структурно перестраиваемой, реконфигурируемой, графодинамической) памяти, в которой обработка информации сводится не только к изменению состояния элементов в памяти, но и к изменению конфигурации связей между ними;
- переход от традиционных компьютерных систем к компьютерным системам, способным решать широкое многообразие сложных (трудно формализуемых) задач и, в том числе интеллектуальных задач, к компьютерным системам с гибридной хорошо структурированной базой знаний высокого качества, с гибридным решателем задач, с гибридным (мультимодальным) интерфейсом (как вербальным, так и невербальным);
- переход от необучаемых компьютерных систем к обучаемым.

Следовательно, интеллектуализация компьютерных систем - это естественное направление их эволюции.

К числу современных наиболее активно развиваемых направлений развития интеллектуальных систем можно отнести:

- управление знаниями и онтологический инжиниринг [3], Semantic Web [4];
- формальные логики (четкие, нечеткие, дедуктивные, индуктивные, абдуктивные, дескриптивные, темпоральные, пространственные и т.д.);
- искусственные нейросети, байесовские сети, генетические алгоритмы (Machine learning в узком смысле);
- компьютерная лингвистика (NLP), семантический анализ текстов естественного языка;
- speech processing, семантический анализ речевых сообщений;
- image processing – техническое зрение, семантический анализ изображений;
- многоагентные системы, коллективы интеллектуальных систем [5], [6], [7];

- гибридные интеллектуальные системы, синергетические интеллектуальные системы [8].

### *В. Современное состояние технологий искусственного интеллекта*

Несмотря на наличие серьезных **научных результатов** в области искусственного интеллекта, темпы **развития рынка интеллектуальных систем** не столь впечатляющи.

Причин тому несколько:

- имеет место большой разрыв между научными исследованиями в области искусственного интеллекта и созданием качественных технологий разработки интеллектуальных систем. Научные исследования в области искусственного интеллекта в основном сконцентрированы на разработку новых методов решения интеллектуальных задач;
- указанные исследования разрознены и не осознают необходимость их интеграции и создания общей формальной теории интеллектуальных систем, т. е. имеет место "вавилонское столпотворение" различных моделей, методов и средств, используемых в искусственном интеллекте при отсутствии осознания проблемы обеспечения их совместимости. Без решения этой проблемы не может быть создана ни общая теория интеллектуальных систем, ни, следовательно, комплексная технология разработки интеллектуальных систем, доступная инженерам и **экспертам**;
- указанная интеграция моделей и методов искусственного интеллекта весьма сложна, т. к. носит междисциплинарный характер;
- интеллектуальные системы как объекты проектирования имеют значительно более высокий уровень сложности по сравнению со всеми техническими системами, которыми человечество имело дело;
- как следствие вышесказанного, имеет место большой разрыв между научными исследованиями и инженерной практикой в этой области. Заполнить этот разрыв можно только путем создания эволюционирующей технологии разработки интеллектуальных систем, развитие которой осуществляется путем активного сотрудничества ученых и инженеров;
- качество разработки прикладных интеллектуальных систем в большой степени зависит от взаимопонимания экспертов и инженеров знаний. Инженеры знаний, не владея тонкостями прикладной области, могут вносить серьезные ошибки в разрабатываемые базы знаний. Посредничество инженеров знаний между экспертами и разрабатываемой базой знаний существенно снижает качество разрабатываемых интеллектуальных систем. Для решения этой проблемы необходимо, чтобы язык представления знаний в базе знаний был удобен не только интеллектуальной системе и инженерам знаний, **но и экспертам**.

Текущее состояние технологий искусственного интеллекта можно охарактеризовать следующим образом:

- Есть большой набор частных технологий искусственного интеллекта с соответствующими инструментальными средствами, но отсутствует общая теория интеллектуальных систем и, как следствие, отсутствует общая комплексная технология проектирования интеллектуальных систем (см. конференции «Artificial General Intelligence» [9]);
- Совместимость частных технологий искусственного интеллекта практически не осуществляется и более того, отсутствует осознание такой необходимости.

Развитие технологий искусственного интеллекта существенным образом затрудняется следующими социально-методологическими обстоятельствами:

- Высокий социальный интерес к результатам работ в области искусственного интеллекта и большая сложность этой науки порождает поверхностность и нечистоплотность при разработке и рекламе различных приложений. Серьезная наука перемешивается с безответственным маркетингом, понятийной и терминологической неряшливостью и безграмотностью, вбрасыванием новых абсолютно ненужных эффектных терминов, запутывающих суть дела, но создающих иллюзию принципиальной новизны.
- Междисциплинарный характер исследований в области искусственного интеллекта существенно затрудняет эти исследования, т.к. работа на стыках научных дисциплин требует высокой культуры и квалификации.

### *С. Направления развития технологий искусственного интеллекта*

Для решения указанных выше проблем развития технологии искусственного интеллекта:

- Продолжая разрабатывать новые формальные модели решения интеллектуальных задач и совершенствовать существующие модели (логические, нейросетевые, продукционные), необходимо обеспечить совместимость этих моделей как между собой, так и с традиционными моделями решения задач, не попавших в число интеллектуальных задач. Другими словами, речь идет о разработке принципов организации гибридных интеллектуальных систем, обеспечивающих решение **комплексных задач**, требующих совместного использования и в непредсказуемых комбинациях самых различных видов знаний и самых различных моделей решения задач.
- Необходим переход от эклектичного построения сложных интеллектуальных систем, использующих различные виды знаний и различные виды моделей решения задач, к глубокой их интеграции, когда одинаковые модели представления и модели обработки знаний реализуется в разных системах и подсистемах одинаково.
- Необходимо сократить дистанцию между современным уровнем теории интеллектуальных систем и практики их разработки.

- Необходимо существенно повысить уровень согласованности действий лиц, участвующих в процессе постоянного совершенствования баз знаний.
- Надо, чтобы в решении этой проблемы совместимости интеллектуальных систем активно участвовали сами системы, а не только их разработчики. Системы должны сами заботиться о поддержке своей совместимости с другими системами в условиях активного изменения этих систем с помощью механизма автоматизированного согласования используемых понятий между интеллектуальными системами.

#### IV. Проблемы развития методов и средств информатизации научной деятельности

Очевидно, что высшей формой информационной деятельности является научная деятельность и, следовательно, высшим уровнем развития компьютерных систем являются системы, непосредственно и активно участвующие в этой деятельности. Научная деятельность направлена на повышение качества наших знаний об окружающем нас Мире и, следовательно, связана с анализом, обработкой и систематизацией этих знаний. Совершенно очевидно что, если компьютерные системы, направленные на автоматизацию научной деятельности, будут понимать обрабатываемые ими научные знания и, следовательно, будут становиться не пассивными исполнителями, а партнерами научной деятельности, способными самостоятельно анализировать, систематизировать научные знания и использовать их в решении различных задач, то уровень автоматизации научной деятельности будет существенно повышен.

Важнейшими факторами сдерживания научно-технического прогресса в настоящее время являются:

- многообразии ("вавилонское столпотворение") как естественных, так и формальных языков, используемых для оформления результатов научно-технических исследований;
- привязка научно-технических текстов к естественным языкам (монографии, отчеты, статьи);
- принципиальное противоречие между принципами эволюции естественных языков как основного средства коммуникации и требованиями, предъявляемыми к научно-техническим языкам.

Для решения указанных проблем необходимо:

- построить строгую формальную систему научно-технических языков;
- построить четкую связь между научно-техническими и естественными языками;
- обеспечить оформление научно-технических текстов на совместимых формальных языках, понятных и удобных как людям, так и компьютерным системам;
- обеспечить поддержку эволюции всего этого мультиязыкового комплекса.

Важнейшим направлением повышения эффективности научно-технической деятельности (и, в частности, повышения темпов научно-технического развития) является переход от традиционного варианта оформления результатов

этой деятельности (в форме отчетов, статей, монографий, справочников) к представлению научно-технической информации в виде энциклопедической системы взаимосвязанных баз знаний по различным научно-техническим дисциплинам. Формальным результатом любой научной дисциплины должна стать база знаний, отражающая текущее состояние этой дисциплины. Для прикладных научных дисциплин дополнительным результатом должна стать доступная для инженеров компьютерная система автоматизации проектирования искусственных систем соответствующего класса.

Представление о трудностях такого перехода сильно преувеличивается, т. к. современные средства инженерии знаний уже готовы к реализации таких проектов. Этому препятствует:

- боязнь нового, непривычного;
- необходимость пересмотра организации научно-технической деятельности.

Но перспективой является переход на качественно новый уровень культуры научно-технического прогресса.

Социальная значимость такого перехода заключается в следующем:

- Существенно повысятся темпы эволюции научных знаний благодаря тому, что добываемые научные знания представляются в форме, удобной как для людей, так и для компьютерных систем, а также благодаря автоматизации их интеграции, анализа, структуризации и согласования различных точек зрения.
- Существенно повысится эффективность использования научных знаний в разрабатываемых компьютерных системах, благодаря тому, что отпадает необходимость этапа формализации этих знаний для включения их в состав баз знаний.
- Возможность непосредственного участия студентов в совершенствовании тех знаний, которые соответствуют изучаемым ими учебным дисциплинам, существенно повысит качество такого обучения, т.к. способствует индивидуальному, активному и системному усвоению учебного материала.

Основной проблемой развития научно-технической деятельности и, соответственно, ее информатизации является необходимость глубокой **конвергенции** различных научных дисциплин, о чем говорится в целом ряде работ [10], [11].

Важной проблемой также является снижение времени и трудоемкости при организации информационного взаимодействия между научными работниками при **согласовании точек зрения**, при совместном выполнении каких-либо исследований, при совместной работе над статьями или монографиями, при рецензировании.

При этом следует помнить, что любая точка зрения всегда имеет недостатки (неполноту, нечеткость и т.п.). Поэтому методологически необходимо переходить от практики противостояния точек зрения к практике интеграции точек зрения (в том числе и тех, которые кажутся альтернативными, противоречащими друг другу). Только так при разработке

сложных систем можно добиться синергетического эффекта, в основе которого лежит компенсация недостатков одних точек зрения достоинствами других.

Так и должна быть устроена организация коллективного творческого процесса. Автоматизация такого процесса предполагает фиксацию множественности точек зрения и управление процессом согласования этих точек зрения.

V. Предлагаемый подход к решению проблем, препятствующих дальнейшей эволюции компьютерных систем и технологий - стандартизация моделей представления и обработки информации

Анализ проблем эволюции компьютерных систем разного уровня сложности, разного уровня обучаемости и интеллектуальности, разного назначения показывает, что проклятие "вавилонского столпотворения" и, как следствие, несовместимость, дублирование и субъективизм согласовываемых информационных ресурсов и моделей их обработки нас преследует везде:

- и в развитии традиционных компьютерных систем;
- и в развитии технологий искусственного интеллекта;
- и в развитии методов и средств информатизации научной и инженерной деятельности.

Рассматривая проблему обеспечения совместимости информационных ресурсов и моделей их обработки, следует говорить о разных аспектах решения этой проблемы:

- об обеспечении совместимости между различными компонентами компьютерных систем, а также между целостными компьютерными системами, входящими в коллективы компьютерных систем;
- об обеспечении совместимости, т.е. высокого уровня взаимопонимания между различными компьютерными системами и их пользователями;
- об обеспечении междисциплинарной совместимости, т.е. конвергенции различных областей знаний;
- о методах и средствах постоянного мониторинга и восстановления совместимости в условиях интенсивной эволюции компьютерных систем и их пользователей, которая часто нарушает достигнутую совместимость (согласованность) и требует дополнительных усилий на ее восстановление.

#### A. Направления эволюции компьютерных систем

В эволюции компьютерных систем можно выделить два общих направления.

**Первое направление** - это

- **расширение множества и многообразия задач**, решаемых компьютерной системой;
- повышение **сложности этих задач** вплоть до трудно формализуемых (трудно решаемых) задач, интеллектуальных задач, решаемых в условиях неполноты, неточности, нечеткости и т.д.;
- повышение **качества решения задач** либо путем более эффективного использования известных моделей решения задач (например, путем разработки более

качественных алгоритмов), либо путем использования принципиально новых моделей решения задач;

- расширение **многообразия используемых видов информации** (знаний);
- расширение **многообразия используемых моделей решения задач**.

Очевидно, что расширение множества решаемых задач в условиях пусть и большой, но всегда конечной памяти компьютерной системы делает все более и более актуальным переход от частных методов и моделей решения задач к их обобщениям (или, как отмечал Д.А. Поспелов, от связки "ключей" к набору "отмычек").

Очевидно также, что многообразие видов задач, решаемых компьютерными системами, многообразие используемых моделей решения задач приводит:

- к интегрированным информационным ресурсам;
- к интегрированным решателям задач;
- к интегрированным компьютерным системам;
- к коллективам компьютерных систем.

Проблема здесь заключается не в самой интеграции, а в ее качестве. Интеграция может быть **эклeктичной**, если не обеспечить совместимость интегрируемых компонентов, а в случае такой совместимости интеграция может привести к новому качеству, к дополнительному расширению множества решаемых задач. Это будет означать переход от эклектичности к гибридности, синергетичности.

**Второе общее направление** эволюции компьютерных систем – это повышение уровня их **обучаемости** и, как следствие, темпов их эволюции.

**Обучаемость** компьютерной системы определяется:

- **трудоемкостью** и темпами приобретения (расширения) и совершенствования активно используемых знаний и навыков;
- **уровнем ограничений**, накладываемых на вид приобретаемых и используемых знаний и навыков (фактически, это ограничения на множество всех тех задач, которые принципиально могут быть решены данной компьютерной системой).

В свою очередь, **трудоемкость и темпы расширения и совершенствования** знаний и навыков компьютерной системы определяется:

- **гибкостью** – многообразием и трудоемкостью возможных изменений, вносимых в систему в процессе пополнения системы новыми знаниями и навыками и совершенствования уже приобретенных знаний и навыков;
- **стратифицированностью** – четким разделением системы на достаточно независимые друг от друга уровни иерархии, т.е. возможностью локализации фрагментов компьютерной системы, не выходя за пределы которых, априори достаточно проводить анализ последствий тех или иных вносимых в систему изменений;
- **рефлексивностью** — способностью анализировать собственное состояние и свою деятельность;

- **гибридностью** – способностью приобретать и использовать широкое (а в идеале – неограниченное) многообразие знаний и навыков;
- **уровнем самообучаемости** – уровнем активности, самостоятельности, целеустремленности в процессе своего обучения, т.е. уровнем способности к обучению без учителя, уровнем автоматизации приобретения новых знаний и навыков, а также совершенствования уже приобретенных знаний и навыков;
- **совместимостью** – трудоемкостью интеграции;
- **способностью к постоянному мониторингу и поддержке своей совместимости** как с другими компьютерными системами, так и со своими пользователями в условиях интенсивной эволюции этих компьютерных систем и их пользователей.

**Совместимость** (трудоемкость интеграции) компьютерных систем может рассматриваться в двух аспектах:

- в аспекте **глубокой интеграции** компьютерных систем, что предполагает преобразование нескольких компьютерных систем в одну целостную компьютерную систему путем объединения информационных и функциональных ресурсов интегрируемых компьютерных систем;
- в аспекте преобразования нескольких компьютерных систем в **коллектив взаимодействующих компьютерных систем**, способных к совместному корпоративному решению сложных задач.

Совместимость (трудоемкость интеграции) компьютерных систем определяется:

- совместимостью различного вида информации (знаний), хранимой в памяти компьютерной системы;
- совместимостью различных моделей решения задач;
- совместимостью встроенных (в т.ч. типовых) подсистем, входящих в состав компьютерных систем;
- совместимостью внешней информации, поступающей на вход компьютерной системе, с информацией, хранимой в памяти компьютерной системы (трудоемкостью понимания внешней информации – трансляции, погружения, выравнивания понятий);
- коммуникационной (в т.ч. семантической) совместимостью с пользователями и с другими компьютерными системами.

Важнейшая форма обучения компьютерной системы это приобретение новых знаний и навыков в "готовом" виде, т.е. в виде некоторых знаковых конструкций, вводимых в память компьютерной системы, поскольку приобретение знаний и навыков из внешних достоверных источников требует существенно меньшего времени по сравнению с их приобретением собственными силами, на основе собственного опыта и собственных ошибок. Но для того, чтобы указанная форма обучения была эффективной, необходимо максимально возможным образом упростить и формализовать механизм (процедуру) погружения новых знаний в память компьютерной системы.

Для решения этой задачи ключевое значение имеет создание удобного для этой цели способа кодирования различного вида информации в памяти компьютерной системы.

Поскольку основным каналом обучения компьютерных систем является приобретение ими знаний и навыков от других субъектов – от других компьютерных систем и от пользователей (от разработчиков-учителей и от конечных пользователей), важнейшим фактором обучаемости компьютерной системы является превращение компьютерной системы в коммуникативную систему, способную эффективно общаться с внешними субъектами. Следовательно, уровень обучаемости компьютерных систем определяется также уровнем ее совместимости с самими этими внешними субъектами, с приобретаемыми ею знаниями и навыками, т.е. степенью того, как компьютерная система вместе с теми субъектами, с которыми она обменивается информацией, решает проблему "вавилонского столпотворения".

### *В. Суть предлагаемого подхода*

Суть предлагаемого нами подхода к решению проблем эволюции компьютерных систем заключается, во-первых, в объединении всех указанных выше направлений эволюции компьютерных систем (как общих направлений, так и частных) и, во-вторых, в трактовке проблемы обеспечения **совместимости** различных видов знаний, различных моделей решения задач, различных компьютерных систем как **ключевой проблемы** эволюции компьютерных систем, решение которой существенно упростит решение и многих других проблем.

Так, например, без обеспечения совместимости информационных ресурсов, используемых в разных компьютерных системах, а также информационных ресурсов, представляющих знания различного семантического вида невозможно:

- ни создавать **коллективы компьютерных систем**, способные координировать свои действия при кооперативном расширении сложных задач;
- ни создавать **гибридные компьютерные системы**, которые способны при решении сложных комплексных задач использовать всевозможные сочетания разных видов знаний и разных моделей решения задач;
- ни использовать **компонентную методику проектирования** компьютерных систем **на всех уровнях** иерархии проектируемых систем.

О какой информационной совместимости и взаимопонимании (в т.ч. между специалистами) можно говорить при наличии ужасающей понятийной и терминологической неряшливости, терминологического псевдотворчества, в том числе, в области информатики.

Говоря о **совместимости** компьютерных систем и их компонентов, а также совместимости компьютерных систем с пользователями, следует отметить неоднозначность трактовки термина "совместимость". В этой связи следует отличать:

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

обучаемость как **способность** к быстрому расширению знаний и навыков, но никак не характеристика объема и качества приобретенных знаний и навыков;

- совместимость как характеристика достигнутого уровня согласованности (интеграции, взаимопонимания).

Аналогичным образом интеллект компьютерной системы с одной стороны можно трактовать как **уровень** (объем и качество) приобретенных знаний и навыков, а с другой стороны как **способность** к быстрому расширению и совершенствованию знаний и навыков, т.е. как **скорость** повышения уровня знаний и навыков.

Кроме того, следует говорить не только о **способностях** к быстрому повышению уровня согласованности и не только о достигнутом уровне согласованности, но и о самом **процессе** повышения уровня согласованности и, прежде всего, о перманентном процессе восстановления (поддержки, сохранения) достигнутого уровня согласованности, поскольку в ходе эволюции компьютерных систем и их пользователей (т. е. в ходе расширения и повышения качества их знаний и навыков) уровень их согласованности может понижаться.

### С. Семантическая унификация компьютерных систем

Главным фактором обеспечения совместимости различных видов знаний, различных моделей решения задач и различных компьютерных систем в целом является

- унификация (стандартизация) представления информации в памяти компьютерных систем;
- унификация принципов организации обработки информации в памяти компьютерных систем.

Унификация представления информации, используемой в компьютерных системах, предполагает:

- синтаксическую унификацию используемой информации – унификацию формы представления (кодирования) этой информации. При этом следует отличать:
  - кодирование информации в памяти компьютерной системы (внутреннее представление информации);
  - внешнее представление информации, обеспечивающее однозначность интерпретации (понимания, трактовки) этой информации разными пользователями и разными компьютерными системами;
- семантическую унификацию используемой информации в основе которой лежит согласование и точная спецификация всех (!) используемых понятий (концептов) с помощью иерархической системы формальных онтологий.

Важно отметить, что грамотная унификация (стандартизация) должна не ограничивать творческую свободу разработчика, а гарантировать **совместимость** его результатов с результатами других разработчиков. Подчеркнем также, что текущая версия любого **стандарта** – это не догма, а только опора для дальнейшего его совершенствования.

Целью качественного стандарта является не только обеспечения совместимости технических решений, но и минимали-

зация дублирования (повторения) таких решений. Один из важных критериев качества стандарта – ничего лишнего.

### стандарт

= знания о структуре и принципах функционирования искусственных систем соответствующего класса  
= онтология искусственных систем некоторого класса  
= теория искусственных систем некоторого класса

Стандарты, как и другие важные для человечества знания, должны быть формализованы и должны постоянно совершенствоваться с помощью специальных интеллектуальных компьютерных систем, поддерживающих процесс эволюции стандартов путем согласования различных точек зрения.

## VI. Стандарт смыслового представления информации в памяти компьютерной системы

### А. Унификация внутреннего представления информации в компьютерных системах

Объективным ориентиром для **унификации представления информации** в памяти компьютерных систем и ключом к решению многих проблем эволюции компьютерных систем и технологий является **формализация смысла представляемой информации**.

Согласно В. В. Мартынову [12], «фактически всякая мыслительная деятельность человека (не только научная), как полагают многие ученые, использует внутренний семантический код, на который переводят с естественного языка и с которого переводят на естественный язык. Поразительная способность человека к идентификации огромного множества структурно различных фраз с одинаковым смыслом и способность **запомнить смысл вне этих фраз** убеждает нас в этом.»

Приведем также слова И.А. Мельчука [13]:

«Идея была следующая – язык надо описывать следующим образом: надо уметь записывать смыслы фраз. Не фразы, а их смыслы, что отдельно. Плюс построить систему, которая по смыслу строит фразу. Это та область или тот поворот исследований, при котором интуиция способного лингвиста работает лучше всего: как выразить на данном языке данный смысл. Это – то, для чего лингвистов учат..»

Лингвистический смысл научного текста – это совсем не то, что ты, читая его, из него извлекаешь. Это, очень грубо говоря, инвариант синонимических парафраз. Ты можешь один и тот же смысл выразить очень многими. Когда ты говоришь, то можешь сказать по-разному: “Сейчас я налью тебе вина”, или: “Дай, я тебе предложу вина”, или: “Не выпить ли нам по бокалу?”, – все это имеет один и тот же смысл. И вот можно придумать, как записывать этот смысл. Именно его. Не фразу, а смысл. И работать надо от этого смысла к реальным фразам. Синтаксис там по дороге тоже нужен, но он нужен именно по дороге, он не может быть ни конечной целью, ни начальной точкой. Это – промежуточное дело.» [14].

Уточнение принципов **смыслового представления информации** основано, во-первых, на четком противопоставлении **внутреннего языка компьютерной системы**,

используемого для хранения информации в памяти компьютера, и **внешних языков компьютерной системы**, используемых для общения (обмена сообщениями) компьютерной системы с пользователями и другими компьютерными системами (смысловое представление используется исключительно для **внутреннего представления** информации в памяти компьютерной системы), и, во-вторых, на максимально возможном упрощении синтаксиса внутреннего языка компьютерной системы при обеспечении универсальности путем исключения из такого внутреннего универсального языка средств, обеспечивающих коммуникационную функцию языка (т. е. обмен сообщениями).

Так, например, для внутреннего языка компьютерной системы излишними являются такие коммуникационные средства языка, как союзы, предлоги, разделители, ограничители, склонения, спряжения и другие.

Внешние языки компьютерной системы могут быть как близки ее внутреннему языку, так и весьма далеки от него (как, например, естественные языки).

**Смысл** – это **абстрактная** знаковая конструкция, принадлежащая внутреннему языку компьютерной системы, являющаяся **инвариантом** максимального класса семантически эквивалентных знаковых конструкций (текстов), принадлежащих самым разным языкам, и удовлетворяющая следующим требованиям:

- **универсальность** - возможность представления любой информации;
- **отсутствие синонимии знаков** (многократного вхождения знаков с одинаковыми денотатами);
- **отсутствие дублирования информации** в виде семантически эквивалентных текстов (не путать с логической эквивалентностью);
- **отсутствие омонимичных знаков** (в том числе местоимений);
- **отсутствие у знаков внутренней структуры** (атомарный характер знаков);
- **отсутствие склонений, спряжений** (как следствие отсутствия у знаков внутренней структуры);
- **отсутствие фрагментов** знаковой конструкции, **не являющихся знаками** (разделителей, ограничителей, и т.д.);
- **выделение 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 компьютерной системы 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 субъективных терминовтворческих пристрастий различных авторов. Это значит, что при коллективной разработке смыслового представления каких-либо информационных ресурсов терминологические споры исключены.

Следствием указанных принципов смыслового представления информации является также то, что эти принципы приводят к нелинейным знаковым конструкциям (к графовым структурам), что усложняет реализацию памяти компьютерных систем, но существенно упрощает ее 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 описываемыми сущностями;
- каждая описываемая сущность в смысловом представлении имеет единственный знак, т.к. синонимия знаков здесь запрещена;
- все связи между описываемыми сущностями описываются (отражаются, моделируются) связями между знаками этих описываемых сущностей.

Суть **универсального смыслового представления информации** можно сформулировать в виде следующих положений:

- Смысловая знаковая конструкция трактуется как множество знаков, взаимно-однозначно обозначающих различные сущности (денотаты этих знаков) и множество связей между этими знаками;
- Каждая связь между знаками трактуется, с одной стороны, как множество знаков, связываемых этой связью, а, с другой стороны, как описание (отражение, модель) соответствующей связи, которая связывает денотаты указанных знаков или денотаты одних знаков непосредственно с другими знаками, или сами эти знаки. Примером первого вида связи между знаками является связь между знаками материальных сущностей, одна из которых является частью другой. Примером второго вида связи между знаками является связь между знаком множества знаков и одним из знаков, принадлежащих этому множеству, а также связь между знаком и знаком файла, являющегося электронным отражением структуры представления указанного знака во внешних знаковых конструкциях. Примерами третьего вида связи между знаками является связь между синонимичными знаками;
- Денотатами знаков могут быть (1) не только конкретные (константные, фиксированные), но и произвольные (переменные, нефиксированные) сущности, "пробегающие" различные множества знаков (возможных значений), (2) не только реальные (материальные), но и абстрактные сущности (например, числа, точки различных абстрактных пространств), (3) не только "внешние", но 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 компьютерной системы, 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 используются, например, для компактного представления некоторых знаний, хранимых в смысловой памяти.

Тем не менее, логической эквивалентностью хранимых в памяти знаковых конструкций увлекаться не следует, т.к. **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. Очевидно, что многообразие возможных вариантов представления одних и тех же знаний в памяти компьютерной системы существенно усложняет решение задач. Поэтому, полностью исключив **семантическую эквивалентность** в смысловой памяти, необходимо стремиться к минимизации **логической эквивалентности**. Для этого необходимо грамотное построение системы используемых понятий в виде иерархической системы формальных онтологий [15].

Важным этапом создания универсального формального способа смыслового кодирования знаний был разработанный В.В. Мартыновым Универсальный Семантический Код (УСК) [12].

В качестве **стандарта** универсального смыслового представления информации **в памяти компьютерных систем** нами предложен **SC-код** (Semantic Computer Code). В отличие от УСК В.В. Мартынова он, во-первых, носит нелинейный характер и, во-вторых, специально ориентирован на кодирование информации в памяти компьютеров нового поколения, ориентированных на разработку семантически совместимых интеллектуальных систем и названных нами **семантическими ассоциативными компьютерами**. Таким образом, основным лейтмотивом предлагаемого нами смыслового представления информации является ориентация на формальную модель памяти фоннеймановского компьютера, предназначенного для реализации интеллектуальных систем, использующих смысловое представление информации. Особенности такого представления являются следующие:

- ассоциативность;
- вся информация заключена в конфигурации связей, т.е. переработка информации сводится к реконфигурации связей (к графодинамическим процессам);
- прозрачная семантическая интерпретируемость и, как следствие, семантическая совместимость.

Неявная привязка к фоннеймановским компьютерам присутствует во всех известных моделях представления знаний. Одним из примеров такой зависимости, является, например, обязательность именования описываемых объектов.

### В. 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. Ключевыми понятиями предметной области, которая описывается (специфицируется) указанной онтологией, являются:

#### **sc-элемент**

= атомарный фрагмент хранимой в памяти знаковой конструкции, принадлежащей SC-коду

#### **sc-узел**

#### **sc-коннектор**

#### **sc-ребро**

= неориентированный sc-коннектор

#### **sc-дуга**

= ориентированный sc-коннектор

#### **базовая sc-дуга**

**инцидентность sc-коннектора\***

**инцидентность входящей sc-дуги\***

В рамках указанной предметной области класс всевозможных *sc-элементов* является максимальным классом объектов исследования, понятия *sc-узла*, *sc-коннектора*, *sc-ребра*, *sc-дуги*, *базовой sc-дуги* являются специально синтаксически выделяемыми подклассами максимального класса объектов исследования, а понятия *инцидентности sc-коннектора\** и *инцидентности входящей sc-дуги\** рассматриваются как отношения, заданные на множестве объектов исследования.

Семейство всех введенных классов объектов исследования (включая и максимальный класс) 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 может одновременно принадлежать и классу *sc-элементов*, и классу *sc-коннекторов*, и классу *sc-дуг*, и классу *базовых sc-дуг*.

Такая особенность *Алфавита SC-кода* дает возможность строить синтаксически корректные **sc-тексты** (тексты SC-кода) в условиях неполноты наших исходных знаний о некоторых *sc-элементах*.

Рассмотрим теоретико-множественную онтологию синтаксиса SC-кода:

#### **sc-элемент**

<= разбиение\*:

- ```
{
  • sc-узел
  • sc-коннектор
}
```

#### **sc-коннектор**

<= разбиение\*:

- ```
{
  • sc-ребро
  • sc-дуга
}
```

#### **sc-дуга**

▷ базовая *sc*-дуга

### инцидентность *sc*-коннектора\*

=> первый домен\*:

*sc*-коннектор

=> второй домен\*:

*sc*-элемент

▷ инцидентность входящей *sc*-дуги\*

∈ бинарное отношение

∈ ориентированное отношение

∈ отношение, среди элементов которого нет множеств /\*для бинарных отношений это означает отсутствие петель\*/

### инцидентность входящей *sc*-дуги\*

=> первый домен\*:

*sc*-дуга

=> второй домен\*:

*sc*-элемент

В процессе обработки текстов выполняются следующие правила уточнения их синтаксической разметки:

- если стало известно, что *sc*-элемент, имеющий метку *sc*-элемента, является *sc*-узлом или *sc*-коннектором, то ему приписывается метка *sc*-узла или *sc*-коннектора, а метка *sc*-элемента удаляется;
- если стало известно, что *sc*-элемент, имеющий метку *sc*-коннектора, является *sc*-ребром или *sc*-дугой, то ему приписывается метка *sc*-ребра или *sc*-дуги, а метка *sc*-коннектора удаляется;
- если стало известно, что *sc*-элемент, имеющий метку *sc*-дуги, является базовой *sc*-дугой, то ему приписывается метка базовой *sc*-дуги, а метка *sc*-дуги удаляется.

Отметим некоторые синтаксические особенности SC-кода.

- Тексты SC-кода являются **абстрактными** в том смысле, что они абстрагируются от конкретного варианта их кодирования в памяти компьютерной системы. Кодирование текстов, в частности, зависит от варианта технической реализации памяти компьютерной системы. 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 исследованные до настоящего времени графовые структуры легко представимы в SC-коде (неориентированные и ориентированные графы, мультиграфы, псевдографы, гиперграфы, сети и др.). Но, кроме этого, в SC-коде представимы и связи между связями, связи между целыми структурами и многое другое. SC-код фактически является **графовым языком**, текстами которого являются графоподобные структуры. Таким образом, теория графов при со-

ответствующем ее расширении может стать основой описания синтаксиса SC-кода.

### C. Семантика SC-кода

Простота синтаксиса **SC-кода** обусловлена следующими **семантическими** свойствами *sc*-текстов (знаковых конструкций, принадлежащих SC-коду).

- **Все (!) *sc*-элементы**, то есть элементарные (атомарные) фрагменты *sc*-текстов, являются знаками (обозначениями) 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 (т. е. нет знаков, в состав которых входят другие знаки);
- Любая сущность может быть описана *sc*-текстом и, соответственно, представлена в этом *sc*-тексте своим знаком;
- Все **синтаксически выделяемые классы *sc*-элементов** (т.е. все элементы *Алфавита SC-кода*) имеют четкую 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 (в том числе и *sc*-текста) с формальной точки зрения – это соответствие (точнее, морфизм) между множеством всех знаков, входящих в знаковую конструкцию, и множеством денотатов этих знаков (т. е. сущностей, обозначаемых этими знаками), а также между множеством всех семантически значимых (семантически интерпретируемых) связей, связывающих знаки, и множеством соответствующих им связей, связывающих либо денотаты всех указанных знаков, либо денотаты некоторых из указанных знаков непосредственно с самими остальными знаками из числа указанных знаков.

Рассмотрим денотационную семантику *sc*-элементов, принадлежащих разным **синтаксически выделяемым классам *sc*-элементов**, т.е. имеющих разные синтаксические метки.

Если *sc*-элемент, имеет метку ***sc*-элемента**, то он может обозначать любую описываемую **сущность**.

Если *sc*-элемент имеет метку ***sc*-коннектора**, который инцидентен *sc*-элементу *ei* и *sc*-элементу *ej*, то он, с одной стороны, является знаком **пары {*ei*, *ej*}**, а, с другой стороны, является моделью (отражением, описанием) связи либо между денотатом *sc*-элемента *ei* и денотатом *sc*-элемента *ej*, либо между денотатом *sc*-элемента *ei* и самим *sc*-элементом *ej*, либо между денотатом *sc*-элемента *ej* и самим *sc*-элементом *ei*.

Если *sc*-элемент имеет метку ***sc*-узла**, то он обозначает **сущность, не являющуюся парой**.

Если *sc*-элемент имеет метку ***sc*-ребра**, которое инцидентно *sc*-элементу *ei* и *sc*-элементу *ej*, то он, с одной стороны, является знаком **неориентированной пары {*ei*, *ei*}**, а

с другой стороны, является моделью (отражением, описанием) связи либо между денотатом *sc-элемента ei* и денотатом *sc-элемента ej*, либо между денотатом *sc-элемента ei* и самим *sc-элементом ej*, либо между денотатом *sc-элемента ej* и самим *sc-элементом ei*, либо непосредственно между самими *sc-элементами ei* и *ej*.

Если *sc-элемент* имеет метку **sc-дуги**, которая выходит из *sc-элемента ei* и входит в *sc-элемент ej*, то он, с одной стороны, является знаком **ориентированной пары**  $\langle ei, ej \rangle$ , а с другой стороны, является моделью (отражением, описанием) связи либо между денотатом *sc-элемента ei* и денотатом *sc-элемента ej*, либо между денотатом *sc-элемента ei* и самим *sc-элементом ej*, либо между денотатом *sc-элемента ej* и самим *sc-элементом ei*, либо непосредственно между самими *sc-элементами ei* и *ej*.

Если *sc-элемент* имеет метку **базовой sc-дуги**, которая выходит из *sc-элемента ei* и входит в *sc-элемент ej*, то он, с одной стороны, является знаком ориентированной **пары константной позитивной постоянной принадлежности**  $\langle ei, ej \rangle$ , а, с другой стороны, является моделью (отражением, описанием) связи между множеством, которое обозначается *sc-элементом ei*, и *sc-элементом ej*, который является одним из элементов указанного множества.

Теперь перейдем к рассмотрению денотационной семантики пар **инцидентности sc-коннекторов**. Напомним, что каждый *sc-коннектор* семантически трактуется как знак **пары sc-элементов**, инцидентных этому *sc-коннектору*. Соответственно этому каждая *пара инцидентности sc-коннектора*, не являясь sc-элементом, семантически трактуется как модель (отражение, описание) связи между *парой sc-элементов*, обозначаемой этим *sc-коннектором*, и одним из двух элементов этой *пары*. При этом принадлежность указанного *sc-элемента* указанной *паре* может носить:

- **константный** либо **переменный** характер в зависимости от константности или переменности указанного *sc-коннектора*;
- **стационарный** (постоянный) либо **нестационарный** (ситуативный) характер в зависимости от стационарности или нестационарности указанного *sc-коннектора*.

Аналогичным образом задается денотационная семантика пар **инцидентности входящих sc-дуг**. Каждая такая пара инцидентности трактуется как модель связи между **ориентированной парой**, обозначаемой *sc-дугой* и вторым компонентом этой пары (т.е. *sc-элементом*, в которой *sc-дуга* входит). И аналогично парам **инцидентности sc-коннекторов** пары **инцидентности входящих sc-дуг** могут иметь **константный** и **переменный** характер, а также **стационарный** и **нестационарный** в зависимости от характера соответствующей *sc-дуги*.

Формальное описание денотационной семантики *SC-кода* средствами самого *SC-кода* осуществляется в виде иерархической системы **формальных онтологий** верхнего уровня, представленных в виде текстов *SC-кода*. В базе знаний **Метасистемы IMS.ostis** все эти онтологии представлены [16]. Перечислим некоторые из них.

Рассмотрим **Онтологию сущностей**, в рамках которой рассматриваются следующие понятия:

### сущность

= *sc-элемент*

<= разбиение\*:

{

- *sc-константа*

- *sc-переменная*

= знак произвольной сущности из некоторого множества возможных значений

}

<= разбиение\*:

{

- *стационарная сущность*

= постоянная сущность

- *темпоральная сущность*

= нестационарная сущность

= сущность, изменяющаяся во времени

⊃ *временная сущность*

= временно существующая сущность

}

<= разбиение\*:

{

- *материальная сущность*

- *терминальная абстрактная сущность*

- *файл*

= первичный (при восприятии) или конечный (при отображении) электронный образ внешней информационной конструкции

- *множество*

= множество *sc-элементов*

<= разбиение\*:

{

- *связь*

- *структура*

- *класс*

<= разбиение\*:

{

- *класс терминальных сущностей*

- *отношение*

= класс связей

- *класс классов*

⊃ *параметр*

- *класс структур*

}

}

}

### связь

= *связка*

<= разбиение\*:

{

- *пара*

= бинарная связь

⊃ *sc-коннектор*

/\*некоторые пары *sc-элементов* в некоторые

периоды времени могут быть не оформлены синтаксически как коннекторы, но такое преобразование обязательно происходит\*/

- *небинарная связь*

}

<= разбиение\*:

{

- *неориентированная связь*  
 $\supset$  *неориентированная пара*
- *ориентированная связь*  
 $\supset$  *ориентированная пара*

}

<= разбиение\*:

{

- *константная связь*  
 $= (связь \cap sc\text{-константа})$
- *переменная связь*  
 $= (связь \cap sc\text{-переменная})$   
 $\supset$  *sc-переменная, значениями которой являются константные связи*  
 $\supset$  *sc-переменная, значениями которой являются переменные связи*

}

#### **пара**

= обозначение двухмощного множества *sc*-элементов

<= разбиение\*:

{

- *неориентированная пара*  
 $\supset$  *sc-ребро*
- *ориентированная пара*  
 $\supset$  *sc-дуга*  
 $\supset$  *пара принадлежности*

}

<= разбиение\*:

{

- *пара-петля*  
 $=$  *пара, являющаяся петлей*  
 $=$  *пара, у которой инцидентные ей sc-элементы совпадают*  
 $=$  *пара, являющаяся мультимножеством*
- *пара, не являющаяся петлей*

#### **пара принадлежности**

= *связь, описывающая характер принадлежности некоторого sc-элемента некоторому множеству*

<= разбиение\*:

{

- *пара константной принадлежности*  
 $= (пара\ принадлежности \cap sc\text{-константа})$
- *пара переменной принадлежности*  
 $= (пара\ принадлежности \cap sc\text{-переменная})$

}

<= разбиение\*:

{

- *пара постоянной принадлежности*  
 $= (пара\ принадлежности \cap стационарная)$

*сущность*)

= *пара стационарной принадлежности*

- *пара временной принадлежности*  
 $= (пара\ принадлежности \cap временная\ сущность)$   
 $=$  *пара ситуативной принадлежности*

}

<= разбиение\*:

{

- *пара позитивной принадлежности*  
 $=$  *пара действительной принадлежности*
- *пара нечеткой принадлежности*
- *пара негативной принадлежности*  
 $=$  *пара несуществующей принадлежности*

}

$\supset$  *пара константной позитивной постоянной принадлежности*

=  $(пара\ позитивной\ принадлежности \cap sc\text{-константа} \cap стационарная\ сущность)$

$\supset$  *базовая sc-дуга*

Нижеперечисленные онтологии уточняют (детализируют) понятия, введенные в **Онтологии сущностей**.

В **Онтологии множеств** уточняется понятие *множества* *sc*-элементов, рассматриваются различные классы множеств (конечные, бесконечные, счетные, континуальные, мультимножества, множества без кратных элементов), различные свойства (характеристики) и отношения, заданные на множествах (мощность множеств, включение, объединение, разбиение, пересечение и т.д.).

В **Онтологии отношений** рассматриваются такие понятия, как *бинарное отношение*, *унарное отношение*, *тернарное отношение*, *класс связок одинаковой мощности*, *класс связок разной мощности*, *арность отношения*, *ориентированное, неориентированное отношение*, *ролевое отношение*, *атрибут отношения\**, *область определения отношения\**, *домен отношения по заданному атрибуту\**, *функция*, и т.д.

Для **Онтологии отношений** вводится онтология более низкого уровня – **Онтология бинарных отношений и соответствий**, которая наследует все свойства отношений, описанных в **Онтологии отношений**, уточняет понятие *бинарного отношения* и рассматривает такие понятия, как *транзитивное отношение*, *симметричное отношение*, *рефлексивное отношение*, *отношение эквивалентности*, *изоморфизм*, *гомоморфизм* и т.д.

Далее вводятся

- **Онтология параметров и измерений**

- **Онтология структур**

- **Онтология предметных областей**

- **Онтология спецификаций**

- **Онтология баз знаний**

- **Онтология переменных и логических формул**

- **Онтология темпоральных сущностей**, в которой рассматриваются такие понятия, как *нестационарный параметр (состояние)*, *процесс*, *действие*, *ситуация*,

*последовательность во времени\**, *темпоральная композиция\** и др.

### ●● **Онтология действий**

#### ● **Онтология файлов и внешних информационных конструкций**

Некоторые из *онтологий*, представленных в *SC-коде*, носят "общеобразовательный" характер. Это означает, что для качественного взаимопонимания между любыми субъектами (как пользователями, так и компьютерными системами), т.е. для качественной их семантической совместимости все эти "общеобразовательные" онтологии, причем в согласованном, унифицированном виде, должны знать все(!). Иначе никакого взаимопонимания не будет.

Список *онтологий* можно продолжать. Все *онтологии* постоянно меняются (уточняются, совершенствуются). Важнейшим критерием качества иерархической системы *онтологий* является стратифицированность способов решения задач, соответствующих различным *онтологиям* – для каждой решаемой задачи желательно априори знать, в рамках какой *онтологии* она может быть решена.

Очевидно, что, кроме "общеобразовательных" *онтологий* существует большое число профессиональных, специализированных *онтологий*, согласованное представление и знание которых необходимо для взаимопонимания (совместимости) всех тех, кто работает в соответствующей профессиональной области.

Таким образом, денотационная семантика *SC-кода*, как и любого другого языка, претендующего на универсальность, отражает текущее состояние наших знаний и, следовательно, может изменяться. Очевидно, что наиболее интенсивно эти изменения происходят в специализированных и новых областях знаний.

## VII. Уточнение понятия семантической совместимости на основе стандарта смыслового представления информации

Важнейшим этапом эволюции любой технологии является переход к **компонентному проектированию** на основе постоянно пополняемый **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 *базы знаний* 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).

Даже для смыслового представления знаний нужны, своего рода, смысловые семантические координаты, роль

которых выполняет используемая система понятий (своего рода, ключевых знаков), которая, в свою очередь, описывается (специфицируется, задается) иерархической системой семантически связанных между собой *онтологий*.

Другими словами, человеческие знания необходимо привести к общему "семантическому знаменателю" (к общей семантической системе координат), чем является постоянно уточняемая система понятий, специфицируемая в виде объединенной онтологии. Эта объединенная онтология **стратифицируется** на частные онтологии, эволюционируемые в достаточной степени **независимо** друг от друга.

Одним из критериев семантической совместимости новой информации с базой знаний, в которую эта информация погружается, можно сформулировать следующим образом.

Все знаки, являющиеся новыми для воспринимающей базы знаний (в которую погружаются эти новые знаки) должны быть в достаточной степени специфицированы (а для новых понятий – определены) через понятия, известные базе знаний.

Стандарт смыслового представления информации (*SC-код*) дает возможность, с одной стороны, повысить уровень совместимости компьютерных систем, а с другой стороны, формально уточнить понятие интеграции компьютерных систем и их компонентов.

Рассмотрим:

- Семантическую интеграцию двух текстов, принадлежащих языку смыслового представления информации (*SC-коду*). В результате такой интеграции два исходных *sc-текста* преобразуются в один интегрированный текст;
- Семантическую интеграцию двух разных моделей обработки информации, представленной в *SC-коде*;
- Модель понимания текста некоторого внешнего языка путем трансляции исходного внешнего текста в *SC-код* и последующим погружением построенного *sc-текста* в базу знаний, представленную в *SC-коде*.
- Семантическую интеграцию двух компьютерных систем, построенных на основе *SC-кода*;
- Семантическую совместимость компьютерной системы, построенной на основе *SC-кода*, с ее пользователями.

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

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

- **трансляция** информации с некоторого внешнего языка на внутренней смысловой язык (*SC-код*). Этот этап отсутствует, если новая информация не вводится извне, а непосредственно генерируется в памяти компьютерной системы;

- **погружение** новой информации, представленной в виде *sc-текста* в текущее состояние информационного ресурса, хранимого в памяти компьютерной системы 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 компьютерной системы информационного ресурса.

Рассмотрим каждый из перечисленных этапов подробнее.

**Трансляция** информации с некоторого внешнего языка в *SC*-код упрощается благодаря тому, что:

- 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 компьютерных систем, как внешние языки;
- процесс **синтаксического анализа** исходного текста внешнего языка можно выполнить путем 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 ее 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 путем манипуляции *sc*-текстами.

Таким образом, эффективность применения *SC*-кода для трансляции текста с некоторого внешнего языка в *SC*-код обусловлено тем, что с помощью *SC*-кода можно описать и синтаксис и семантику внешнего языка. Можно осуществлять синтаксический анализ внешнего текста и последующую генерацию *sc*-текста, семантически эквивалентного исходному внешнему тексту, оставаясь в рамках *SC*-кода.

**Погружение** (интеграция) нового сгенерированного *sc*-текста в состав заданного *sc*-текста (например, в состав базы знаний, представленной в *SC*-коде) сводится к **склеиванию** (отождествлению) некоторых *sc*-элементов нового *sc*-текста с синонимичными им *sc*-элементами, входящими в состав заданного *sc*-текста. Таким образом, задача погружения нового *sc*-текста в состав заданного *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 осуществляется:

- путем поиска пар *sc*-элементов, у которых совпадают согласованные внешние имена (подчеркнем при этом,

что все используемые понятия обязаны иметь соответствующие им согласованные внешние имена);

- путем логических рассуждений, использующих логические формулы следующих видов:

- формулы о несуществовании;
- формулы о существовании и единственности;
- формулы о существовании конечного и указываемого числа значений соответствующих переменных.

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 в более "конструктивном" ключе с явным введением отношения **синонимии *sc*-элементов**. Так, например, вместо утверждения о том, что "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  $tj \notin pj$ ".

Достаточно подробное описание примера погружения *sc*-текста в базу знаний, представленную также в *SC*-коде, приведено в разделе IX статьи [1] - Пример 4.

**Выравнивание понятий**, используемых в новом интегрируемом (вводимом, погружаемом) *sc*-тексте, с понятиями, используемыми в заданном интегрирующем *sc*-тексте, осуществляется следующим образом:

- Заданный интегрирующий *sc*-текст (обычно это база знаний, представленная в *SC*-коде) должен явно содержать:
  - информацию о текущем статусе (состоянии, характере) использования каждого известного базе знаний понятия, используемого либо непосредственно в самой базе знаний, либо внешними субъектами, информация от которых может поступать на вход указанной базы знаний;
  - информацию о текущем статусе (состоянии, характере) использования каждого внешнего знака (чаще всего термина, имени), соответствующего каждому используемому понятию, а также некоторым общеизвестным сущностям, которые не являются понятиями;
- Интегрируемый (вводимый, погружаемый) 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 интегрирующему тексту);

- Для решения задачи **выравнивания** используемых понятий для текущего состояния базы знаний и для нового вводимого (интегрируемого) в эту базу знаний текста все используемые в базе знаний понятия делятся на:

- согласованные (признанные) на текущий момент и не меняющие своего статуса;
- устаревшие = понятия, бывшие в употреблении и редко используемые;
- устаревающие = понятия, для которых в течение заданного отрезка времени происходит замена их статуса из статуса согласованного понятия в статус отклоненного понятия;
- возвращаемые = понятия, статус которых меняется из статуса отклоненного понятия в статус согласованного понятия;
- предложенные новые понятия = новые понятия, проходящие согласование = понятия, статус которых меняется из статуса предложенных в статус либо одобренных, либо отклоненных = согласуемые понятия;
- одобренные понятия = понятия, которые успешно прошли согласование;
- отклоненные понятия = понятия, результаты согласования которых отрицательны;
- вводимые новые понятия = понятия, статус которых меняется и статуса одобренного понятия в статус согласованного понятия = понятия, вводимые в употребление.

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

При этом следует отличать:

- семейство всех понятий, известных *базе знаний* в текущий момент;
- текущее состояние статуса всех этих понятий;
- множество всех переходных процессов, направленных на изменение статуса понятий и осуществляемых в текущий момент.

Заметим также, что перманентный процесс согласования всех используемых понятий является необходимым условием обеспечения совместимости (интегрируемости) текстов *SC-кода*. Но для обеспечения совместимости текстов *SC-кода* необходим перманентный процесс согласования не только самих используемых понятий, но и соответствующих им *внешних знаков* (имен, терминов). Более того, *внешние знаки* (имена) и их согласование могут потребоваться не только для понятий, но и для сущностей других видов (например, для людей, населенных пунктов, географических объектов, исторических событий и т.д.).

Подчеркнем при этом, что принципы организации согласования *внешних знаков* (имен) аналогичны рассмотренным

выше принципам организации согласования понятий в условиях их постоянного изменения. Так, например, каждой связке отношения *быть внешним знаком\**, связывающей *sc-знак* некоторой сущности с *sc-узлом*, обозначающим файл внешнего знака указанной сущности, как и каждому понятию, можно поставить в соответствие ее текущий статус (согласованный, устаревший, устаревающий, возвращаемый, предложенный, одобренный, отклоненный, вводимый).

Завершая рассмотрение модели понимания как модели семантического ввода некоторого текста, не обязательно принадлежащего *SC-коду*, в заданный текст *SC-кода*, сделаем несколько замечаний.

Понимание может быть искаженным (в том числе противоречивым) и поверхностным (неполным), обусловленным некачественным погружением новой информации в текущее состояние информационного ресурса, хранимого в памяти компьютерной системы (ошибка в отождествлении знаков и, как следствие, неверно установленная синонимия, либо неполнота отождествления, не все новые знаки, синонимичные имеющимся в базе знаний, склеены с со своими синонимами).

**Проблема понимания**, взаимопонимания между людьми, между компьютерными системами, между компьютерными системами и их пользователями является эпицентром современного этапа эволюции компьютерных систем и ждет своего решения. Чем глубже мы проникаем в формализацию процесса понимания (особенно, понимания текстов естественного языка), тем все больше и больше приходится удивляться тому, что люди все же как-то понимают друг друга, хотя далеко не всегда. Чаще это не понимание, а иллюзия понимания. Здесь уместно напомнить известную фразу: “Счастье – это когда тебя понимают.”

#### *В. Унификация и совместимость различных моделей решения задач*

Предлагаемый нами подход к существенному повышению уровня совместимости (интегрируемости) различных **моделей решения задач** заключается в следующем:

- Вся информация, хранимая в памяти каждого **решателя задач** (как собственно обрабатываемая информация, так и хранимые в памяти интерпретируемые навыки, например, различного вида программы), представляется в форме смыслового представления этой информации (в *SC-коде*);
- Собственно решение каждой задачи осуществляется коллективом агентов, работающих над общей для них смысловой (семантической) памятью и выполняющих интерпретацию хранимых в этой же памяти навыков (указанные агенты будем называть ***sc-агентами***);
- Интеграция двух разных моделей решения задач сводится:
  - к объединению памяти первой модели с памятью второй модели;
  - к интеграции всего *sc-текста*, хранимого в памяти первой модели, с *sc-текстом*, хранимым

в памяти второй модели (эта интеграция осуществляется путем взаимного погружения этих *sc-текстов* друг в друга, т.е. путем склеивания синонимов, а также путем выравнивания используемых ими понятий);

- к объединению множества агентов, входящих в состав первой модели, со множеством агентов, входящих во вторую модель решения задач.

Таким образом, унификация моделей решения задач путем приведения этих моделей к виду *sc-моделей* (т.е. моделей обработки *sc-текстов*) повышает уровень совместимости этих моделей благодаря наличию прозрачной процедуры интеграции обрабатываемых и интегрируемых *sc-текстов* и тривиальной процедуры объединения множеств *sc-агентов*. Простота 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 им самим, а также текущим состоянием хранимой в памяти информации.

Таким образом, в качестве основы унификации принципов обработки информации в компьютерных системах предлагается использовать **многоагентный подход**. Ориентация на многоагентный подход обусловлена следующими основными преимуществами такого подхода [5]:

- автономность (независимость) агентов, что позволяет локализовать изменения, вносимые в систему при ее эволюции, и снизить соответствующие трудозатраты;
- децентрализация обработки, т.е. отсутствие единого контролирующего центра, что также позволяет локализовать вносимые в систему изменения.

Но современные принципы построения **многоагентных систем** при их применении для многоагентной обработки *баз знаний* имеют ряд недостатков:

- знания агента представляются при помощи узкоспециализированных языков, зачастую не предназначенных для представления знаний в широком смысле и онтологий в частности;
- большинство современных многоагентных систем предполагает, что взаимодействие агентов осуществляется путем обмена сообщениями непосредственно от агента к агенту;
- логический уровень взаимодействия агентов жестко привязан к физическому уровню реализации многоагентной системы;
- среда, с которой взаимодействуют агенты, уточняется отдельно разработчиком для каждой многоагентной системы, что приводит к существенным накладным расходам и несовместимости таких многоагентных систем.

Перечисленные недостатки предлагается устранять за счет использования следующих принципов:

- коммуникацию агентов предлагается осуществлять путем спецификации (в общей памяти компьютерной си-

стемы) действий (процессов), выполняемых агентами и направленных на решение задач;

- в роли внешней среды для агентов выступает та же общая память;
- спецификация каждого агента описывается средствами языка представления знаний в той же памяти;
- синхронизацию деятельности агентов предлагается осуществлять на уровне выполняемых ими процессов;
- каждый информационный процесс в любой момент времени имеет ассоциативный доступ к необходимым фрагментам базы знаний, хранящейся в общей памяти.

### *С. Семантическая совместимость компьютерных систем*

Уровень совместимости **компьютерных систем** определяется трудоемкостью реализации процедур интеграции (объединения, соединения знаний этих систем), а также трудоемкостью и глубиной интеграции входящих в эти системы *решателей задач* (навыков и интерпретаторов этих навыков). Подчеркнем при этом, что интеграция интеграции рознь – от эклектики до гибридности и синергетичности дистанция огромного размера.

Совместимые *компьютерные системы* – это компьютерные системы, для которых существует автоматически выполняемая процедура их интеграции, превращающая эти системы в единую **гибридную систему**, в рамках которой каждая исходная компьютерная система в процессе своего функционирования может свободно использовать любые необходимые знания и навыки, входящие в состав другой исходной компьютерной системы.

Целостную *компьютерную систему* можно рассматривать как решатель задач, интегрировавший несколько моделей решения задач и обладающий средствами взаимодействия с внешней для себя средой (с другими компьютерными системами, с пользователями).

Таким образом, для того, чтобы повысить уровень совместимости *компьютерных систем*, необходимо преобразовать их к виду **многоагентных систем**, работающих над общей смысловой памятью, в которой информация представлена текстами *SC-кода*. Такие унифицированные *компьютерные системы* далеко не всегда целесообразно непосредственно объединять (интегрировать) в более крупные *компьютерные системы*. Иногда целесообразнее их объединять в *коллективы взаимодействующих компьютерных систем*. Но при создании таких коллективов компьютерных систем унификация и совместимость таких систем также очень важны, т.к. существенно упрощают обеспечение высокого уровня их взаимопонимания. Так, например, противоречия между компьютерными системами, входящими в коллектив, можно обнаруживать путем анализа на непротиворечивость **виртуальной объединенной базы знаний** этого коллектива. Более того, непротиворечивость указанной виртуальной базы знаний можно считать одним из критериев семантической совместимости систем, входящих в соответствующий коллектив.

#### D. Достоинства смыслового представления информации

Почему целесообразен переход к *смысловому представлению информации* в памяти компьютерной системы:

- *смысловое представление информации* есть **объективный**, не зависящий от субъективизма и многообразия синтаксических решений, способ представления информации;
- в рамках смыслового представления существенно упрощается процедура интеграции знаний и погружения новых знаний в *базу знаний*;
- существенно упрощается процедура приведения различного вида знаний к общему виду (к согласованной системе используемых понятий);
- существенно упрощается процедура интеграции различных *решателей задач* и целых *компьютерных систем*;
- существенно упрощается автоматизация перманентного процесса поддержки семантической совместимости (согласованности понятий и онтологий) для *компьютерных систем* в условиях их постоянного совершенствования;
- на основе предложенного *стандарта смыслового представления информации* существенно упрощается интеграция различных дисциплин в области искусственного интеллекта, т.е. построение общей формальной теории интеллектуальных систем, так как для построения общей формальной модели интеллектуальных систем необходим базовый язык, в рамках которого можно было бы легко переходить от информации (от знаний) к **метаинформации** (к метазнаниям, к спецификациям исходных знаний). Это подтверждается тем, что:
  - подавляющее число понятий искусственного интеллекта носит метаязыковой характер;
  - *SC-код* представляет собой единство языка и метаязыка, оставаясь в рамках простого синтаксиса;
  - формальное смысловое уточнение почти каждого понятия искусственного интеллекта требует предшествующего формального уточнения соответствующего языка-объекта. Так, например, как можно строго говорить о языке онтологий (т.е. языке спецификации предметных областей), не уточнив язык представления самих этих предметных областей. Как можно строго говорить о языке описания способов обработки информации, не уточнив язык представления самой этой обрабатываемой информации.

#### VIII. Семантические компьютерные системы и технологии

Предлагаемое нами устранение проблем современных информационных технологий путем перехода к *смысловому представлению информации* в памяти компьютерных систем фактически преобразует современные компьютерные системы (в том числе и современные интеллектуальные системы) в *семантические компьютерные системы*, которые, следовательно, являются не альтернативной ветвью

развития *компьютерных систем*, а естественным этапом их эволюции, направленным на обеспечение высокого уровня их обучаемости и, в первую очередь, **совместимости**.

Архитектура *семантических компьютерных систем* (см. рис. 1) практически совпадает с архитектурой интеллектуальных систем, основанных на знаниях. Отличие здесь заключается в том, что в *семантических компьютерных системах*:

- база знаний имеет смысловое представление;
- интерпретатор знаний и навыков представляет собой коллектив *агентов*, осуществляющих обработку *базы знаний*.

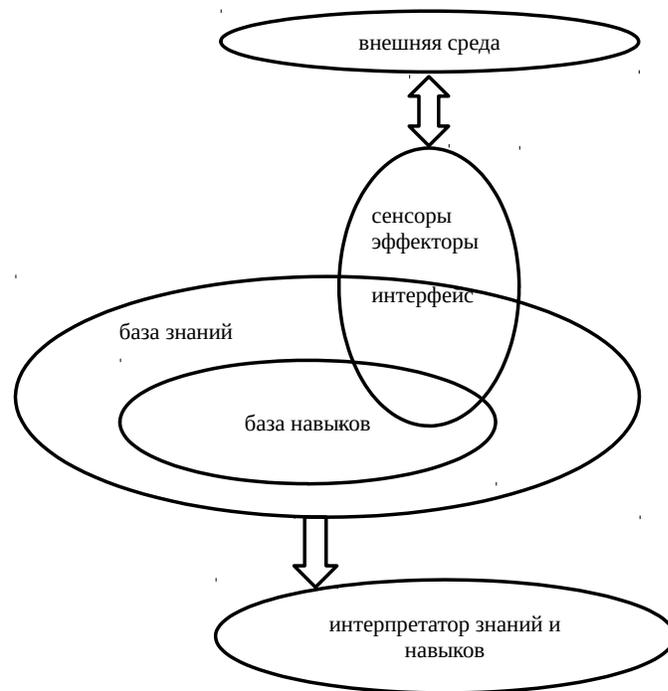


Рис. 1. Архитектура ostis-системы

Как следствие этого, *семантические компьютерные системы* обладают высоким уровнем обучаемости, т.е. способностью быстро приобретать новые и совершенствовать уже приобретенные знания и навыки и при этом не иметь никаких ограничений на вид приобретаемых и совершенствуемых ею знаний и навыков, а также на их совместное использование.

Более того, при согласовании соответствующих стандартов, а также при перманентном совершенствовании этих стандартов и при грамотной их поддержке в условиях интенсивной эволюции как самих стандартов, так и *семантических компьютерных систем* (речь идет о постоянной поддержке соответствия между текущим состоянием компьютерных систем и текущим состоянием эволюционируемых стандартов), *семантические компьютерные системы* и их компоненты обладают весьма высокой степенью совместимости.

Это, в свою очередь, практически исключает дублирование инженерных решений и дает возможность существен-

но ускорить разработку *семантических компьютерных систем* с помощью постоянно расширяемой библиотеки многократно используемых и совместимых между собой компонентов.

Основным лейтмотивом перехода от современных компьютерных систем (в том числе интеллектуальных) к семантическим компьютерным системам, т.е. компьютерным системам, основанным на смысловом представлении всей информации, хранимой в ее памяти, является создание **общей семантической теории компьютерных систем**, включающей в себя:

- семантическую теорию знаний и баз знаний;
- семантическую теорию задач и моделей их решения;
- семантическую теорию взаимодействия информационных процессов;
- семантическую теорию пользовательских и, в том числе, естественно языковых интерфейсов;
- семантическую теорию невербальных сенсорно-эффекторных интерфейсов;
- теорию универсальных интерпретаторов семантических моделей компьютерных систем и, в частности, теорию семантических компьютеров.

Эпицентром следующего этапа развития информационных технологий является решение проблемы обеспечения **семантической совместимости компьютерных систем** и их компонентов. Для решения этой проблемы необходим

- переход от традиционных компьютерных систем и от современных интеллектуальных систем к *семантическим компьютерным системам*;
- разработка стандарта семантических компьютерных систем.

Очевидно, что *семантические компьютерные системы* являются компьютерными системами нового поколения, устраняющие многие недостатки современных компьютерных систем. Но для массовой разработки таких систем необходима соответствующая технология, которая должна включать в себя

- теорию семантических компьютерных систем и комплекс всех стандартов, обеспечивающих совместимость разрабатываемых систем;
- методы и средства проектирования семантических компьютерных систем;
- методы и средства перманентного совершенствования самой технологии.

Предлагаемая нами технология разработки семантических компьютерных систем названа **Технологией OSTIS** (Open Semantic Technology for Intelligent Systems).

В основе этой технологии лежит **SC-код** – разработанный нами стандарт смыслового представления информации в памяти компьютерных систем.

В целом, *Технология OSTIS* – это

- **стандарт семантических компьютерных систем**, обеспечивающий семантическую совместимость систем, соответствующих этому стандарту;

- **методы построения** таких компьютерных систем и их совершенствования в процессе их эксплуатации;
- **средства построения** и совершенствования этих систем

- языковые средства;
- библиотеки типовых технических решений;
- инструментальные средства
  - средства синтеза и модификации;
  - средства анализа, верификации, диагностики, тестирования;
  - средства устранения обнаруженных ошибок и недостатков.

Существенно подчеркнуть, что *Технология OSTIS* – это не просто **стандарт семантических компьютерных систем**, а стандарт, который постоянно и интенсивно совершенствуется в ходе постоянного расширения и совершенствования формализации используемых видов знаний и моделей решения задач путем достижения консенсуса (согласования точек зрения) с участием всех заинтересованных физических и юридических лиц.

Принципиальным является то, что *Технология OSTIS* позволяет создавать системы, которые вовсе не обязательно должны решать *интеллектуальные задачи*, но такая реализация *компьютерных систем* обеспечивает:

- их совместимость;
- высокую степень их гибкости, что позволяет неограниченным образом расширять функциональные возможности компьютерных систем вплоть до возможности решать *интеллектуальные задачи*.

Перечислим принципы, лежащие в основе *Технологии OSTIS*:

- ориентация на смысловое однозначное представление знаний в виде семантических сетей, имеющих базовую теоретико-множественную интерпретацию, что обеспечивает решение проблемы многообразия форм представления одного и того же смысла, и проблемы неоднозначности семантической интерпретации информационных конструкций;
- использование ассоциативной графодинамической модели памяти;
- применение агентно-ориентированной модели обработки знаний;
- реализация *Технологии OSTIS* в виде интеллектуальной **Метасистемы IMS.ostis**, которая сама построена по *Технологии OSTIS* и осуществляет поддержку проектирования компьютерных систем, разрабатываемых по *Технологии OSTIS*;
- обеспечение в проектируемых системах высокого уровня гибкости, стратифицированности, рефлексивности, гибридности, совместимости и, как следствие, обучаемости.

К достоинствам Технологии OSTIS можно отнести:

- *Технология OSTIS* имеет открытый характер как для ее пользователей (разработчиков прикладных интеллек-

туальных систем), так и для тех, кто желает участвовать в ее совершенствовании;

- *Технология OSTIS* ориентирована на постоянное повышение темпов ее эволюции;
- *Технология OSTIS* является основой для решения проблем семантической совместимости самых различных научных и технических знаний, так как она ориентирована на формализацию междисциплинарных связей самого различного вида.

Перспективными направлениями применения *Технологии OSTIS* являются:

- Разработка на базе *Технологии OSTIS* частной технологии проектирования интеллектуальных справочных систем, интеллектуальных семантических учебников, обучающих систем и интеллектуальных help-систем в различных областях;
- Целостный комплекс совместимых семантических электронных учебников по всему набору школьных дисциплин;
- Интеллектуальные персональные ассистенты (секретари, референты), осуществляющие персонифицированное информационное обслуживание, интеграцию доступных сервисов, мониторинг и контроль деятельности пользователей;
- Интеллектуальные системы управления различными предприятиями, организациями, проектами на основе онтологий и формального описания выполняемых действий, событий, ситуаций;
- Интеллектуальные системы автоматизации проектирования различных классов искусственных систем на основе онтологических моделей;
- Порталы научных знаний и семантические средства поддержки развития различных научно-технических направлений;
- Распределенное глобальное смысловое пространство знаний, представляющее собой результат интеграции баз знаний всех систем, построенных по *Технологии OSTIS* и связанных между собой глобальной сетью;
- Интеллектуальные системы экскурсионного обслуживания;
- Интеллектуальные системы комплексного индивидуального медицинского мониторинга и обслуживания;
- Интеллектуальные робототехнические системы;
- Умная среда жизнедеятельности (умный дом, умная дорога, умный город).

## IX. Экосистема OSTIS

### *Экосистема OSTIS*

= Социотехническая экосистема, представляющая собой коллектив взаимодействующих семантических компьютерных систем и осуществляющая перманентную поддержку эволюции и совместимости всех входящих в нее систем, на протяжении всего их жизненного цикла

= Неограниченно расширяемый коллектив постоянно эволюционируемых семантических компьютерных

*систем, которые взаимодействуют между собой и с пользователями для корпоративного решения сложных задач и для постоянной поддержки высокого уровня совместимости и взаимопонимания во взаимодействии как между собой, так и с пользователями*

Поскольку рассмотренная выше *Технология OSTIS* ориентирована на разработку *семантических компьютерных систем*, обладающих высоким уровнем *обучаемости* и, в частности, высоким уровнем семантической *совместимости*, и поскольку обучаемость и совместимость есть только *способность* к обучению (т.е. к высоким темпам расширения и совершенствования своих знаний и навыков), а также *способность* к обеспечению высокого уровня взаимопонимания (согласованности), необходима некая среда, социотехническая инфраструктура, в рамках которой были бы созданы максимально комфортные условия для реализации указанных выше способностей. Такая среда названа нами *Экосистемой OSTIS*, которая представляет собой коллектив взаимодействующих (через сеть Интернет):

- *семантических компьютерных систем*, построенных по стандартным *Технологии OSTIS* (такие системы будем называть *ostis-системами*);
- пользователей указанных *ostis-систем* (как конечных пользователей, так и разработчиков);
- некоторых компьютерных систем, не являющихся *ostis-системами*, но рассматриваемых ими в качестве дополнительных информационных ресурсов или сервисов.

### A. Поддержка совместимости между компьютерными системами Экосистемы OSTIS

Основное назначение *Экосистемы OSTIS* – обеспечить совместимость компьютерных систем, входящих в *Экосистему OSTIS* как на этапе их разработки, так и в ходе их эксплуатации. Проблема здесь заключается в том, что в ходе эксплуатации систем, входящих в *Экосистему OSTIS*, они могут изменяться из-за чего совместимость может нарушаться.

Задачами *Экосистемы OSTIS* являются:

- оперативное внедрение всех согласованных изменений стандарта *ostis-систем* (в том числе, и изменений систем используемых понятий и соответствующих им терминов);
- перманентная поддержка высокого уровня взаимопонимания всех систем, входящих в *Экосистему OSTIS*, и всех их пользователей;
- корпоративное решение различных сложных задач, требующих координации деятельности нескольких (чаще всего, априори неизвестных) *ostis-систем*, а также, возможно, некоторых пользователей.

*Экосистема OSTIS* – это переход от самостоятельных (автономных, отдельных, целостных) *ostis-систем* к коллективам самостоятельных *ostis-систем*, т.е. к распределенным *ostis-системам*. По уровню иерархии можно выделить следующие виды *ostis-систем*:

- **атомарная встроенная *ostis-система***  
= *ostis-система, интегрированная в состав самостоятельной ostis-системы, но не в состав другой встроенной ostis-системы*
- **неатомарная встроенная *ostis-система***  
= *ostis-система, которая интегрирована в состав самостоятельной ostis-системы, и включает в себя некоторые другие встроенные ostis-системы*  
⊃ *пользовательский интерфейс*
- **самостоятельная *ostis-система***  
= *целостная ostis-система, которая должна самостоятельно решать соответствующее множество задач и, в частности, взаимодействовать с внешней средой (вербально – с пользователями и другими компьютерными системами, так и невербально)*
- **коллектив *ostis-систем***  
= *группа общающихся ostis-систем, в состав которой могут входить не только самостоятельные ostis-системы, но и коллективы ostis-систем*  
= *распределенная ostis-система*
- **Экосистема *OSTIS***  
∈ *максимальный коллектив ostis-систем*  
∈ *коллектив ostis-систем, не являющийся частью другого коллектива ostis-систем*

Подчеркнем, что к **самостоятельным *ostis-системам***, входящим в состав *Экосистемы OSTIS*, предъявляются особые требования:

- они должны обладать всеми необходимыми знаниями и навыками для обмена сообщениями и целенаправленной организации взаимодействия с другими *ostis-системами*, входящими в *Экосистему OSTIS*;
- в условиях постоянного изменения и эволюции *ostis-систем*, входящих в *Экосистему OSTIS*, каждая из них должна сама следить за состоянием своей совместимости (согласованности) со всеми остальными *ostis-системами*, т.е. должна самостоятельно поддерживать эту совместимость, согласовывая с другими *ostis-системами* все требующие согласования изменения, происходящие у себя и в других системах.
- каждая система, входящая в состав *Экосистемы OSTIS*, должна:
  - интенсивно, активно и целенаправленно обучаться (как с помощью учителей-разработчиков, так и самостоятельно);
  - сообщать всем другим системам о предлагаемых или окончательно утвержденных изменениях в онтологиях и, в частности, в наборе используемых понятий;
  - принимать от других *ostis-систем* предложения об изменениях в онтологиях (в том числе в наборе используемых понятий) для согласования или утверждения этих предложений;

- реализовывать утвержденные изменения в онтологиях, хранимых в ее базе знаний;
- способствовать поддержанию высокого уровня семантической совместимости не только с другими *ostis-системами*, входящими в *Экосистему OSTIS*, но и со своими пользователями (т.е. обучать их, информировать их об изменениях в онтологиях).

*Экосистема OSTIS* является формой реализации, совершенствования и применения *Технологии OSTIS* и, следовательно, является формой создания, развития, самоорганизации рынка семантически совместимых компьютерных систем и включает в себя все необходимые для этого ресурсы – информационные, технологические, кадровые, организационные, инфраструктурные.

*Экосистеме OSTIS* ставится в соответствие ее **объединенная база знаний**, которая представляет собой **виртуальное объединение баз знаний** всех *ostis-систем*, входящих в состав *Экосистемы OSTIS*. Качество этой базы знаний (полнота, непротиворечивость, чистота) является постоянной заботой всех самостоятельных *ostis-систем*, входящих в состав *Экосистемы OSTIS*. Соответственно этому каждой указанной *ostis-системе* ставится в соответствие своя база знаний и своя иерархическая система *sc-агентов*.

По назначению *ostis-системы*, входящие в *Экосистему OSTIS*, могут быть:

- ассистентами конкретных пользователей или конкретных пользовательских коллективов;
- типовыми встраиваемыми подсистемами *ostis-систем*;
- системами информационной и инструментальной поддержки проектирования различных компонентов и различных классов *ostis-систем*;
- системами информационной и инструментальной поддержки проектирования или производства различных классов технических и других искусственно создаваемых систем;
- порталами знаний по самым различным научным дисциплинам;
- системами автоматизации управления различными сложными объектами (производственными предприятиями, учебными заведениями, кафедрами вузов, конкретными обучаемыми);
- интеллектуальными справочными и help-системами;
- интеллектуальными обучающими системами, семантическими электронными учебными пособиями;
- интеллектуальными робототехническими системами.

*В. Поддержка совместимости между компьютерными системами и их пользователями в Экосистеме OSTIS*

Есть два аспекта поддержки совместимости и взаимопонимания в *Экосистеме OSTIS*

- поддержка совместимости между *ostis-системами*, входящими в *Экосистему OSTIS*;
- поддержка совместимости и взаимопонимания между *ostis-системами*, входящими в *Экосистему OSTIS*,

и их пользователями при активном стимулировании со стороны *Экосистемы OSTIS* того, чтобы каждый пользователь *Экосистемы OSTIS* был одновременно не только активным ее конечным пользователем, но и активным ее разработчиком.

Таким образом, для обеспечения высокой эффективности эксплуатации и высоких темпов эволюции *Экосистемы OSTIS*, необходимо постоянно повышать уровень информационной совместимости (уровень взаимопонимания) не только между компьютерными системами, входящими в состав *Экосистемы OSTIS*, но также между этими системами и их пользователями. Одним из направлений обеспечения такой совместимости является стремление к тому, чтобы *база знаний* (картина мира) каждого пользователя стала частью (фрагментом) *Объединенной базы знаний Экосистемы OSTIS*. Это значит, что каждый пользователь должен знать, как устроена структура каждой научно-технической дисциплины (объекты исследования, предметы исследования, определения, закономерности и т.д.), как могут быть связаны между собой различные дисциплины.

Формирование таких навыков системного построения картины Мира необходимо начинать со средней школы. Для этой цели необходимо создать комплекс совместимых интеллектуальных обучающих систем по всем дисциплинам среднего образования с четко описанными междисциплинарными связями [17], [18]. Благодаря этому можно предотвратить формирование у пользователей "мозаичной" картины Мира как множества слабо связанных между собой дисциплин. А это, в свою очередь, означает существенное повышение качества образования, которое абсолютно необходимо для качественной эксплуатации компьютерных систем следующего поколения – *семантических компьютерных систем*.

Пользователи и, первую очередь, разработчики *Экосистемы OSTIS* должны иметь высокий уровень:

- математической культуры (культуры формализации) при построении формальной модели среды, в которой функционирует интеллектуальная система, формальных моделей решаемых ею задач и формальных моделей различных используемых ею способов решения задач;
- системной культуры, позволяющей адекватно оценивать качество разрабатываемых систем с точки зрения общей теории систем и, в частности, оценивать общий уровень автоматизации, реализуемый с помощью этих систем. Системная культура предполагает стремление и умение избегать эклектики, стремление и умение обеспечить качественную стратифицированность, гибкость, рефлексивность, а также качественное сопровождение, высокий уровень обучаемости и комфортный пользовательский интерфейс разрабатываемых систем;
- технологической культуры, обеспечивающей совместимость разрабатываемых систем и их компонентов, а также постоянное расширение библиотеки многократ-

но используемых компонентов создаваемых систем и предполагающей высокий уровень проектной дисциплины;

- умения работать в команде разработчиков наукоемких систем, что предполагает высокий уровень умения работать на междисциплинарных стыках, высокий уровень коммуникабельности и договороспособности, т.е. способности не столько отстаивать свою точку зрения, сколько согласовывать ее с точками зрения других разработчиков в интересах развития *Экосистемы OSTIS*;
- активности и ответственности за общий результат – высокие темпы эволюции *Экосистемы OSTIS* в целом.

Таким образом высокие темпы эволюции *Экосистемы OSTIS* обеспечиваются не только профессиональной квалификацией пользователей (знаниями о *Технологии OSTIS*, о текущем состоянии и проблемах *Экосистемы OSTIS* и навыками использования *Технологии OSTIS* и интеллектуальных систем, входящих в *Экосистему OSTIS*), но и соответствующими человеческими качествами. Очевидно, что современный уровень договороспособности, активности и ответственности не может быть основой для эволюции таких систем, как *Экосистема OSTIS*.

Поддержка совместимости *Экосистемы OSTIS* с ее пользователями осуществляется следующим образом:

- в каждую *ostis-систему* включаются встроенные *ostis-системы*, ориентированные
  - на перманентный мониторинг деятельности конечных пользователей и разработчиков этой *ostis-системы*,
  - на анализ качества и, в первую очередь, корректности этой деятельности,
  - на перманентное ненавязчивое персонифицированное обучение, направленное на повышение качества деятельности пользователей, т.е. на повышение их квалификации;
- в состав *Экосистемы OSTIS* включаются *ostis-системы*, специально предназначенные для обучения пользователей *Экосистемы OSTIS* базовым общепризнанным знаниям и навыкам решения соответствующих классов задач. Сюда входят и знания, соответствующие уровню среднего образования, и знания соответствующие базовым дисциплинам высшего образования в области информатики (и, в том числе, в области искусственного интеллекта), и базовые знания по *Технологии OSTIS* и об *Экосистеме OSTIS*.

Проблема создания рынка совместимых компьютерных систем – **вызов современной науке и технике**. От ученых, работающих в области искусственного интеллекта требуется умение коллективно работать над решением междисциплинарных проблем и доводить эти решения до общей интегрированной теории интеллектуальных систем, предполагающей интеграцию всех направлений искусственного интеллекта, и до технологий, доступных широкому кругу инженеров. От инженеров интеллектуальных систем

требуется активное участие в развитии соответствующих технологий и существенное повышение уровня математической, системной, технологической и организационно-психологической культуры.

Но главной задачей здесь является снижение барьера между научными исследованиями в области искусственного интеллекта и инженерией в области разработки интеллектуальных систем. Для этого наука должна стать конструктивной и ориентированной на интеграцию своих результатов в форме комплексной технологии разработки интеллектуальных систем, а инженерия, осознав наукоемкость своей деятельности, должна активно участвовать в разработке технологий.

Особый акцент в *Экосистеме OSTIS* делается на постоянный процесс согласования *онтологий* (и, в первую очередь, на согласование семейства всех используемых понятий и терминов, соответствующих этим понятиям) между всеми (!) активными субъектами *Экосистемы OSTIS* – между всеми *ostis-системами* и всеми пользователями.

При наличии *ostis-систем*, являющихся персональными ассистентами пользователей во взаимодействии с *Экосистемой OSTIS*, вся эта *Экосистема* будет восприниматься пользователями как единая интеллектуальная система, объединяющая все имеющиеся в *Экосистеме OSTIS* информационные ресурсы и сервисы.

Принципы организации *Экосистемы OSTIS* создают все необходимые условия для привлечения к разработке и совершенствованию *Технологии OSTIS* научные, организационные и финансовые ресурсы, которые будут направлены на развитие методов и средств искусственного интеллекта и на формирование рынка семантически совместимых интеллектуальных систем.

## X. Метасистема IMS.ostis

Эффективность любой технологии, в том числе и *Технологии OSTIS* [16] определяется не только сроками создания искусственных систем соответствующего класса, но и темпами совершенствования самой технологии (темпами совершенствования средств автоматизации и темпами совершенствования системы стандартов, лежащих в основе технологии).

Для фиксации текущего состояния *Технологии OSTIS*, а также для организации ее эффективного использования и ее перманентного совершенствования с участием ученых, работающих в области искусственного интеллекта, и инженеров, разрабатывающих семантические компьютерные системы различного назначения, в состав *Экосистемы OSTIS* вводится *Метасистема IMS.ostis* [16], назначение которой делает ее ключевой *ostis-системой* в рамках *Экосистемы OSTIS*.

### *Метасистема IMS.ostis*

= *Интеллектуальная метасистема комплексной информационной и инструментальной поддержки проектирования совместимых семантических компьютерных систем, которая является формой*

*реализации общей теории и технологии проектирования семантических компьютерных систем и которая поддерживает высокий темп эволюции указанной теории и технологии*

= *Intelligent MetaSystem for intelligent systems design*

= *IMS.ostis*

= *Фреймворк интеллектуальных систем*

= *Интеллектуальная метасистема комплексной поддержки проектирования совместимых семантических компьютерных систем по Технологии OSTIS*

= *Фреймворк ostis-систем*

= *Фреймворк IMS.ostis*

*Метасистема IMS.ostis* является в *Экосистеме OSTIS* ключевой интеллектуальной системой, которая поддерживает не только проектирование новых интеллектуальных систем и не только замену устаревших компонентов в интеллектуальных системах, входящих в состав *Экосистемы OSTIS*, но и включение (интеграция) в состав *Экосистемы OSTIS* новых создаваемых интеллектуальных систем.

*Метасистема IMS.ostis* ориентирована на разработку и практическое внедрение методов и средств **компонентного проектирования** семантически совместимых интеллектуальных систем, которая предоставляет возможность быстрого создания интеллектуальных приложений различного назначения.

Сферы практического применения технологии компонентного проектирования семантически совместимых интеллектуальных систем ничем не ограничены.

### A. Структура разрабатываемых *ostis-систем*

Архитектура компьютерных систем, разрабатываемых по *Технологии OSTIS* четко стратифицирована на две подсистемы:

- *базу знаний*, которая представляет собой полную семантическую модель интеллектуальной системы (которую будем называть *sc-моделью* интеллектуальной системы или *sc-моделью* базы знаний интеллектуальной системы, так как она оформляется в виде связной знаковой конструкции, принадлежащей *SC-коду* – базовому языку внутреннего смыслового представления знаний в памяти *ostis-систем*);
- базовый универсальный интерпретатор семантической модели интеллектуальной системы, хранимой в ее памяти (интерпретатор *sc-модели* базы знаний интеллектуальной системы).

Указанные подсистемы *ostis-систем* могут разрабатываться абсолютно независимо друг от друга при соблюдении четких требований, предъявляемых со стороны *Технологии OSTIS* и заключающихся в согласованной одинаковой для этих подсистем трактовке синтаксиса и семантики *SC-кода*, который является универсальным языком внутреннего смыслового представления знаний в памяти *ostis-систем*, а также синтаксиса и семантики **Языка SCP**

(Semantic Code Programming), который является подязыком *SC-кода* и представляет собой базовый язык агентно-ориентированного программирования, ориентированный на обработку знаковых конструкций, принадлежащих *SC-коду*.

Рассмотренная стратификация *ostis-системы* на совместимые между собой *базу знаний* и интерпретатор базы знаний, во-первых, представляет широкие возможности для самых различных вариантов реализации интерпретатора *sc-моделей баз знаний* (в том числе, для различных вариантов, реализации семантических компьютеров с ассоциативной графодинамической, реконструируемой памятью) и, во-вторых, дает возможность легко переносить (перезагружать) базу знаний интеллектуальной системы в память другого интерпретатора базы знаний. Последняя возможность означает платформенную независимость интеллектуальных систем, разрабатываемых по *Технологии OSTIS*, поскольку различные варианты реализации интерпретаторов *sc-моделей баз знаний* суть не что иное, как различные варианты платформ для реализации *ostis-систем*.

Таким образом, при наличии достаточно эффективного варианта реализации интерпретатора *sc-моделей баз знаний* разработка *ostis-системы* сводится к проектированию *sc-модели ее базы знаний* [15], которая включает в себя:

- *sc-модель интегрированного решателя задач этой ostis-системы* [19], которая, в свою очередь, включает в себя:
  - *sc-модели классов решаемых задач* (в частности, хранимые программы языков высокого уровня);
  - *scr-программы агентов обработки знаний*;
- *sc-модель интегрированного интерфейса ostis-системы*, который представляет собой встроенную *ostis-систему*, ориентированную на решение интерфейсных задач, связанных с обеспечением непосредственного взаимодействия *ostis-системы* с внешней средой (как невербального рецепторно-эффекторного взаимодействия, так и вербального взаимодействия с пользователями, с другими *ostis-системами*, с иными компьютерными системами).

### В. Техническая реализация *Metacustemy IMS.ostis*

Назначение *Metacustemy IMS.ostis* — реализация технологии проектирования семантически совместимых компьютерных систем в виде метасистемы, построенной по той же технологии и обеспечивающей комплексную информационную и инструментальную поддержку проектирования семантически совместимых компьютерных систем. В состав указанной метасистемы входят:

- полное описание самой технологии;
- история эволюции технологии;
- описание правил использования технологии;
- описание организационной инфраструктуры, направленной на развитие технологии;
- библиотека многократно используемых в совместимых компонентах интеллектуальных систем;

- методы и инструментальные средства проектирования различного вида компонентов интеллектуальных систем;
- технические средства координации деятельности участников проекта, направленные на постоянное совершенствование технологии.

Задачи *Проекта IMS.ostis*:

- Разработать *Metacustemy IMS.ostis*, обеспечивающую быстрое компонентное проектирование семантически совместимых компьютерных систем различного назначения.
- Разработать методы и средства, обеспечивающие интенсивное развитие рынка семантически совместимых прикладных интеллектуальных систем, созданных на основе *Metacustemy IMS.ostis*.
- Разработать методы и средства, обеспечивающие стимулирование интенсивного развития самой *Metacustemy IMS.ostis*.

Научная новизна *Metacustemy IMS.ostis* заключается в унификации представления различного вида информации в памяти компьютерных систем на основе смыслового (семантического) представления этой информации, что обеспечивает:

- устранение дублирования одной и той же информации в разных интеллектуальных системах и в разных компонентах одной и той же системы;
- семантическую совместимость различных компонентов интеллектуальных систем и различных интеллектуальных систем в целом;
- существенное расширение библиотек совместимых многократно используемых компонентов компьютерных систем за счет "крупных" компонентов и, в частности, типовых подсистем.

Принципы технической реализации *Metacustemy IMS.ostis* полностью совпадают с принципами технической реализации прикладных интеллектуальных систем, разрабатываемых с помощью этой метасистемы. Таким образом, *Metacustema IMS.ostis* — это интеллектуальная система, предназначенная для комплексной информационной и инструментальной поддержки проектирования семантически совместимых компьютерных систем, на назначение которых не накладывается никаких ограничений.

База знаний *Metacustemy IMS.ostis* включает в себя:

- текущее состояние моделей и методов, используемых при разработке интеллектуальных систем с помощью *Metacustemy IMS.ostis*;
- систематизированную библиотеку многократно используемых и совместимых компонентов интеллектуальных систем;
- описание инструментальных средств проектирования различного вида компонентов интеллектуальных систем (фрагментов баз знаний, решателей задач, пользовательских интерфейсов);

- описание средств координации коллективной деятельности, направленной на постоянное развитие *Метасистемы IMS.ostis*;
- описание истории эволюции *Метасистемы IMS.ostis*;
- описание средств проектирования различных классов интеллектуальных систем.

Решатель задач и пользовательский интерфейс *Метасистемы IMS.ostis* обеспечивают поддержку всего комплекса проектных задач, решаемых разработчиками прикладных интеллектуальных систем, а также разработчиками самой *Метасистемы IMS.ostis*.

Организация *Проекта IMS.ostis* реализуется в форме взаимодействия *Метасистемы IMS.ostis* с его пользователями и основана на следующих принципах:

- Для стимулирования развития рынка совместимых прикладных интеллектуальных систем, разработанных с помощью *Метасистемы IMS.ostis* и развития самой этой метасистемы используются технические средства анализа и оценки объекта и значимости персонального вклада каждого разработчика в специальных условных единицах.
- Для стимулирования развития рынка совместимых прикладных интеллектуальных систем, разработанных с помощью *Метасистемы IMS.ostis*, за каждую такую интеллектуальную систему, зарегистрированную и специфицированную в рамках *Метасистемы IMS.ostis*, разработчикам выделяется вознаграждение в используемых условных единицах после того, как эта прикладная система будет протестирована на предмет семантической совместимости с другими системами, разработанными с помощью *Метасистемы IMS.ostis*. При этом *Метасистемы IMS.ostis* становится площадкой для рекламы и распространения интеллектуальных систем, разработанных с его помощью.
- Стимулирование развития самой *Метасистемы IMS.ostis* осуществляется следующим образом. Участие в развитии *Метасистемы IMS.ostis* носит открытый характер, для чего достаточно соответствующим образом зарегистрироваться. Авторские права каждого разработчика *Метасистемы IMS.ostis* защищаются и каждый его вклад в зависимости от его ценности автоматически измеряется и фиксируется в используемых условных единицах.
- Участие в развитии *Метасистемы IMS.ostis* может иметь самые различные формы (в простейшем случае, это может быть указание на конкретные ошибки, на конкретные трудности, с которыми пользователь столкнулся, формулировка конкретных пожеланий; более сложным вкладом является добавление в базу знаний метасистемы новых знаний, новых компонентов в библиотеку многократно используемых компонентов). При этом автор нового многократно используемого компонента, включенного в библиотеку *Метасистемы IMS.ostis*, может выбрать любую лицензию для его распространения и, в том числе, назначить ему любую

цену.

- Использование *Метасистемы IMS.ostis* зарегистрированными пользователями для ознакомления с ним носит бесплатный открытый характер. При коммерческой разработке прикладных интеллектуальных систем стоимость каждого обращения к библиотекам *Метасистемы IMS.ostis* вполне доступна, но существенно снижается в зависимости от степени активности пользователя в развитии *Метасистемы IMS.ostis*. Это еще один механизм стимулирования участия в развитии *Метасистемы IMS.ostis*.

Таким образом, указанные принципы организации *Метасистемы IMS.ostis* обеспечивают на постоянной основе привлечение к разработке *Метасистемы IMS.ostis* и к формированию рынка семантически совместимых прикладных интеллектуальных систем неограниченные научные, технические и финансовые ресурсы и, в частности, привлечение любых специалистов, желающих участвовать в этом открытом проекте.

#### XI. Семейство различных вариантов реализации универсального интерпретатора семантических моделей компьютерных систем

##### ***универсальный интерпретатор sc-моделей компьютерных систем***

= типовая встроенная базовая *ostis-система*  
 = встроенная пустая *ostis-система*  
 = универсальный интерпретатор *sc-моделей ostis-систем*  
 = универсальная базовая *ostis-система*, обеспечивающая имитацию любой *ostis-системы* путем интерпретации *sc-модели имитируемой ostis-системы*  
 /\*соотношение между имитируемой и универсальной *ostis-системой* в известной мере аналогично соотношению между машиной Тьюринга и универсальной машиной Тьюринга\*/  
 = интерпретатор программ языка SCP  
 /\*Semantic Code programming\*/  
 = *scp-машина*

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

- *смысловую графовую ассоциативную память* (*sc-память*, *sc-хранилище* знаковых конструкций, представленных SC-коде);
- *интерпретатор языка SCP* - базового процедурного языка программирования, ориентированного на обработку текстов SC-кода, хранимых в смысловой графовой ассоциативной памяти.

#### *А. Аппаратная реализация универсального интерпретатора семантических моделей компьютерных систем*

##### **Семантический ассоциативный компьютер**

- = Аппаратно реализованный интерпретатор семантических моделей (sc-моделей) компьютерных систем
- = Семантический ассоциативный компьютер, управляемый знаниями
- = Компьютер с нелинейной структурно перестраиваемой (графодинамической) ассоциативной памятью, переработка информации в которой сводится не к изменению состояния элементов памяти, а к изменению конфигурации связей между ними
- = sc-компьютер
- = scr-компьютер
- = Компьютер, управляемый знаниями, представленными в SC-коде
- = Компьютер, ориентированный на обработку текстов SC-кода

Перечислим основные принципы, лежащие в основе семантического ассоциативного компьютера:

- нелинейная память — каждый элементарный фрагмент хранимого в памяти текста может быть инцидентен неограниченному числу других элементарных фрагментов этого текста;
- структурно перестраиваемая (реконфигурируемая) память — процесс отработки хранимой в памяти информации сводится не только к изменению состояния элементов, но и к реконфигурации связей между ними;
- в качестве внутреннего способа кодирования знаний, хранимых в памяти семантического ассоциативного компьютера, используется универсальный (!) способ нелинейного (графоподобного) смыслового представления знаний, названный нами SC-кодом (семантическим, смысловым компьютерным кодом);
- обработка информации осуществляется коллективом агентов, работающих над общей памятью. Каждый из них реагирует на соответствующую ему ситуацию или событие в памяти (компьютер, управляемый хранимыми знаниями);
- есть программно реализуемые агенты, поведение которых описывается хранимыми в памяти агентно-ориентированными программами, которые интерпретируются соответствующими коллективами агентов;
- есть базовые агенты, которые не могут быть реализованы программно (в частности, это агенты интерпретации агентных программ, базовые рецепторные агенты-датчики, базовые эффекторные агенты);
- все агенты работают над общей памятью одновременно. Более того, если для какого-либо агента в некоторый момент времени в различных частях памяти возникает сразу несколько условий его применения, разные акты указанного агента в разных частях памяти могут выполняться одновременно (акт агента — это неделимый, целостный процесс деятельности агента);

- для того, чтобы акты агентов, параллельно выполняемые в общей памяти не "мешали" друг другу, для каждого акта в памяти фиксируется и постоянно актуализируется его текущее состояние. То есть каждый акт сообщает всем остальным о своих намерениях и пожеланиях, которым остальные агенты не должны препятствовать (например, это различного рода блокировки используемых элементов семантической памяти);
- кроме того, агенты (точнее, выполняемые ими акты) должны соблюдать "этику", стараясь не в ущерб себе создавать максимально благоприятные условия для других агентов (актов), например, не жадничать, быстрее возвращать, не захватывать (не блокировать) лишние элементы памяти, как можно скорее освобождать (деблокировать) заблокированные элементы памяти;
- процессор и память семантического ассоциативного компьютера глубоко интегрированы и составляют единую процессоро-память. Процессор семантического ассоциативного компьютера равномерно "распределен" по его памяти так, что процессорные элементы одновременно являются и элементами памяти компьютера. Обработка информации в семантическом ассоциативном компьютере сводится к реконфигурации каналов связи между процессорными элементами, следовательно память такого компьютера есть не что иное, как коммутатор (!) указанных каналов связи. Таким образом, текущее состояние конфигурации этих каналов связи и есть текущее состояние обрабатываемой информации.

#### ХII. Встраиваемая интеллектуальная система коллективной разработки смысловых баз знаний

Известно, что разработка база знаний интеллектуальных систем является весьма трудоемким процессом, во многом определяющим качество интеллектуальной системы. Очевидно также, что сокращение сроков разработки базы знаний возможно путем организации коллективной разработки, но при условии решения ряда задач, например:

- Как в рамках коллектива разработчиков одной и той же базы знаний предотвратить синдром "лебеда, рака и щуки", или синдром "семи нянек" и как снизить накладные расходы на согласование их деятельности по созданию качественной базы знаний.
- Как обеспечить возможность включения любых уже формализованных знаний в базу знаний любой интеллектуальной системы (если они там необходимы) без какой-либо "ручной" корректировки этих знаний и тем самым полностью исключить повторную разработку и адаптацию этих знаний.

Качество базы знаний определяется следующими ее характеристиками:

- полнота = целостность = отсутствие информационных дыр
- непротиворечивость = корректность = отсутствие ошибок

- актуальность = соответствие текущему состоянию внешней среды и текущему состоянию общечеловеческих знаний о внешней среде
- структуризация.

Проектирование интеллектуальных систем заключается в построении семантической модели этой интеллектуальной системы, включающей в себя и модель обрабатываемых знаний, и различные модели решения различных классов задач, и различные модели взаимодействия интеллектуальных систем с ее внешней средой. При этом обрабатываемыми знаниями могут быть и модели решения задач в базе знаний, и модели решения интерфейсных задач, которые, соответственно, также должны входить в состав базы знаний интеллектуальных систем.

Комплекс средств проектирования интеллектуальных систем можно разделить на

- средства проектирования баз знаний;
- средства проектирования решателей интеллектуальных систем;
- средства проектирования интерфейсов интеллектуальных систем.

При этом существенно подчеркнуть, что проектирование решателя задач интеллектуальной системы заключается в проектировании знаний специального вида — навыков и спецификаций агентов, осуществляющих интерпретацию этих навыков при решении конкретных задач. Проектирование интерфейсов интеллектуальных систем сводится к проектированию знаний, представляющих собой семантическую модель встроенной интеллектуальной системы, ориентированной на решение интерфейсных задач.

#### ***Встраиваемая типовая интеллектуальная система комплексной поддержки проектирования баз знаний***

= *Встраиваемая типовая интеллектуальная система комплексной автоматизации проектирования, а также управления процессом коллективного проектирования и совершенствования баз знаний интеллектуальных систем на всех этапах их жизненного цикла*

= *Интеллектуальная система автоматизированного проектирования баз знаний*

= *Встраиваемая интеллектуальная система, поддержки проектирования и совершенствования баз знаний интеллектуальных систем на всех этапах их жизненного цикла*

= *Интеллектуальный компьютерный фреймворк баз знаний интеллектуальных систем, разрабатываемых по Технологии OSTIS*

Данная встраиваемая интеллектуальная система осуществляет:

- мониторинг деятельности каждого участника процесса проектирования баз знаний, что необходимо для защиты его авторских прав, для оценки объема и значимости его вклада в проектную деятельность, для оценки его профессиональной квалификации, для качественного распределения новых проектных работ с учетом его

текущей квалификации и планируемого направления повышения этой квалификации, для реализации откатов, то есть отмены ошибочных решений, принятых администраторами или менеджерами проектируемой базы знаний;

- контроль версий проектируемой базы знаний, реализацию необходимых возвратов к предшествующим версиям;
- контроль исполнительской дисциплины;
- анализ текущего состояния и динамики процесса проектирования, выявление критических ситуаций;
- семантический анализ корректности результатов проектных работ всех участников;
- оценку объема и значимости деятельности каждого участника проекта;
- оценку текущего состояния и динамики развития квалификационного портрета каждого участника проекта;
- формирование рекомендаций по повышению квалификации каждого участника проекта;
- контроль качества (непротиворечивости, целостности, полноты, чистоты) текущего состояния проектируемой и совершенствуемой базы знаний.

Каждый участник процесса проектирования базы знаний может выполнять различные виды проектных работ:

- предложить новый фрагмент в согласованную часть базы знаний или некоторую корректировку (удаление, изменение) в этой части базы знаний;
- высказать согласие или несогласие с предложенной кем-то корректировкой или добавлением в согласованную часть базы знаний;
- провести верификацию, тестирование, рецензирование предложенной кем-то корректировки или добавления в согласованную часть базы знаний и написать замечания к доработке этого предложения;
- предложить формулировку нового проектного задания, например, на устранение указываемого противоречия (ошибки), на заполнение указываемой информационной дыры;
- высказать конструктивные критические замечания к формулировке нового проектного задания;
- предложить исполнителя или группу исполнителей для выполнения пока не исполняемого проектного задания;
- высказать конструктивные критические замечания к предложенным исполнителям некоторого свободного проектного задания.

#### **XIII. Порталы научных знаний, обеспечивающие формализацию междисциплинарных связей**

Целями интеллектуального портала научных знаний являются:

- Ускорение погружения каждого человека в новые для него научные области при постоянном сохранении общей целостной картины Мира (образовательная цель);

- Фиксация в систематизированном виде новых научных результатов так, чтобы все основные связи новых результатов с известными были четко обозначены;
- Автоматизация координации работ по рецензированию новых результатов;
- Автоматизация анализа текущего состояния базы знаний.

Создание интеллектуальных порталов научных знаний, обеспечивающих повышение темпов интеграции и согласования различных точек зрения, – это способ существенного повышения темпов эволюции научно-технической деятельности.

Совместимые порталы научных знаний, реализованные в виде *ostis-систем*, входящих в *Экосистему OSTIS*, являются основой новых принципов организации научной деятельности, в которой

- результатами этой деятельности являются не статьи, монографии, отчеты и другие научно-технические документы, а фрагменты глобальной базы знаний, разработчиками которых являются свободно формируемые научные коллективы, состоящие из специалистов в соответствующих научных дисциплинах,
- с помощью порталов научных знаний осуществляется
  - координация процесса рецензирования новой научно-технической информации, поступающей от научных работников в базы знаний этих порталов,
  - процесс согласования различных точек зрения ученых (в частности, введению и семантической корректировке понятий, а также введению и корректировке терминов, соответствующих различным сущностям).

Реализация семейства семантически совместимых порталов научных знаний в виде совместимых *ostis-систем*, входящих в состав *Экосистемы OSTIS*, предполагает разработку иерархической системы семантически согласованных формальных онтологий, соответствующих различным научно-техническим дисциплинам, с четко заданным наследованием свойств описываемых сущностей и с четко заданными междисциплинарными связями, которые описываются связями между соответствующими формальными онтологиями и специфицируемыми ими предметными областями.

Реализация порталов научных знаний в виде семейства семантически совместимых *ostis-систем* означает также попытку преодолеть "вавилонское столпотворение" многообразия научно-технических языков, не меняя сути научно-технических знаний, а сводя эти знания к единой универсальной форме смыслового представления знаний в памяти порталов научных знаний, т.е. к форме которая в достаточной степени понятна как *ostis-системам*, так и любым потенциальным их пользователям.

Примером портала научных знаний, построенного в виде *ostis-системы* является *Метасистема IMS.ostis*, содержащая все известные на текущий момент знания и навыки, входящие в состав *Технологии OSTIS*.

#### XIV. Заключение

Основными направлениями решения проблемы информационной совместимости компьютерных систем являются:

- *семантическая информационная технология*, в основе которой лежит смысловое представление информации в памяти компьютерных систем;
- *самоорганизующаяся экосистема*, поддерживающая эволюцию и совместимость компьютерных систем, построенных по семантической информационной технологии, в ходе эксплуатации этих систем.

Таким образом, текущий этап развития традиционных и интеллектуальных информационных технологий знаменует переход от современных информационных технологий к **семантическим информационным технологиям** и к соответствующей самоорганизующейся экосистеме, состоящей из **семантических компьютерных систем**. Эпицентром текущего этапа развития информационных технологий является обеспечение и самообеспечение информационной совместимости компьютерных систем и согласованности их функционирования.

Очевидно, что темпы развития семантических информационных технологий, а также рынка прикладных семантических компьютерных систем в первую очередь зависит от числа специалистов, принимающих участие в развитии этих технологий и в расширении многообразия их приложений. Наиболее результативной формой достижения этих целей являются **открытые проекты** и, прежде всего, открытый проект развития *Метасистемы IMS.ostis*, предоставляющий возможность каждому желающему внести свой вклад в развитие семантических информационных технологий.

На сайте Белорусского объединения специалистов в области искусственного интеллекта (<http://baai.org.by> [20]) приведена информация о целом ряде таких открытых проектов, развиваемых и поддерживаемых указанным объединением специалистов.

#### Список литературы

- [1] V. Golenkov, N. Guliakina, N. Grakova, I. Davydenko, V. Nikulenkа, A. Eremeev, and V. Tarassov, "From training intelligent systems to training their development tools," *Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektual'nykh sistem [Open semantic technologies for intelligent systems]*, pp. 81–98, 2018.
- [2] A. N. Borisov, "Postroenie intellektual'nykh sistem, osnovannykh na znaniyakh, s povtornym ispol'zovaniem komponentov [Building of intelligent knowledge-based systems with reusable components]," *Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektual'nykh sistem [Open semantic technologies for intelligent systems]*, pp. 97–102, 2014.
- [3] T. A. Gavrilova, D. V. Kudryavcev, and D. I. Muromcev, *Inzheneriya znaniy: modeli i metody : uchebnik [Knowledge Engineering: Models and Methods: Textbook]*. Spb. : Lan', 2016.
- [4] World Wide Web Consortium [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.w3.org>. — Date of access: 24.11.2016.
- [5] M. Wooldridge, *An introduction to multiagent systems*. Chichester : J. Wiley, 2009.
- [6] V. Tarasov, *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam [From multi-agent systems to intelligent organizations]*. M.: Editorial URSS, 2002, (in Russian).
- [7] I. Z. Batyshin, A. O. Nedosekin, A. A. Stetsko, V. B. Tarasov, A. V. Yazenin, and N. G. Yarushkina, *Nechetkie gibridnye sistemy. Teoriya i praktika [Fuzzy hybrid systems. Theory and practice]*. M. : FIZMATLIT [M.: PHYSMATLIT], 2007.

- [8] A. Kolesnikov, *Gibridnye intellektual'nye sistemy: Teoriya i tekhnologiya razrabotki [Hybrid intelligent systems: theory and technology of development]*, A. M. Yashin, Ed. SPb.: Izd-vo SPbGTU, 2001.
- [9] (2018, dec) Artificial general intelligence conference (agi). [Online]. Available: <http://agi-conference.org>
- [10] A. Palagin, "Problemy transdisciplinarnosti i rol' informatiki [transdisciplinarity problems and the role of informatics]," *Kibernetika i sistemyj analiz [Cybernetics and systems analysis]*, vol. 5, pp. 3–13, 2013.
- [11] A. Yankovskaya, "Analiz dannyx i znanii na osnove konvergentsii neskol'kikh nauk i nauchnykh napravlenii [data and knowledge analysis based on the convergence of several sciences and scientific fields]," in *Mezhdunarodnaya konferentsiya "Intellektualizatsiya obrabotki informatsii"(IOI-8) [International Conference "Intellectualization of Information Processing"(IIP-8)]*. Kipr, 2010, pp. 196–199.
- [12] V. Martynov, *Semiologicheskie osnovy informatiki [Semiological foundations of computer science]*. Minsk: Nauka i tekhnika [Science and technics], 1974.
- [13] I. Melchuk, *Opyt teorii lingvisticheskikh modelej Smysl-Tekst. Shkola «Yazyki russkoj kul'tury»*, 1999.
- [14] I. A. Melchuk, "Kak nachinalas' matematicheskaya lingvistika [how did mathematical linguistics begin]," *Ocherki istorii informatiki Rossii [Essays on the history of computer science in Russia]*, pp. 358–370, 1998.
- [15] I. Davydenko, "Semantic models, method and tools of knowledge bases coordinated development based on reusable components," *Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem [Open semantic technologies for intelligent systems]*, pp. 99–118, 2018.
- [16] (2018, Dec) Ims.ostis metasytem. [Online]. Available: <https://ims.ostis.net>
- [17] A. Bashmakov and I. Bashmakov, *Razrabotka komp'yuternykh uchebnikov i obuchayushchikh sistem [Development of computer textbooks and training systems]*. M: Informatsionno-izdatel'skii dom Filin"[Information and Publishing House Filin], 2003.
- [18] V. Taranchuk, "Vozmozhnosti i sredstva wolfram mathematica dlya razrabotki intellektual'nykh obuchayushchikh sistem [opportunities and means of wolfram mathematica for developing intelligent tutoring systems]," *«Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika» [«Scientific statements of Belgorod State University. Series: Economy. Computer science»]*, vol. 33, no. 1 (198), pp. 102–110, 2015.
- [19] D. Shunkevich, "Agent-oriented models, method and tools of compatible problem solvers development for intelligent systems," *Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem [Open semantic technologies for intelligent systems]*, pp. 119–132, 2018.
- [20] (2018, Dec) Belarusian public association of experts in the field of artificial intelligence. [Online]. Available: <https://baai.org.by>