

УДК 004.89

## СЕМАНТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ И СЕМАНТИЧЕСКИЕ АССОЦИАТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

В.В. ГОЛЕНКОВ, Н.А. ГУЛЯКИНА, И.Т. ДАВЫДЕНКО, Д.В. ШУНКЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 11 февраля 2019*

**Аннотация.** В статье проведен анализ проблемы обеспечения совместимости компьютерных систем, рассмотрены основные принципы, лежащие в основе технологии OSTIS, одной из задач которой является решение данной проблемы. Отдельное внимание уделено принципам построения семантических ассоциативных компьютеров, являющихся аппаратной реализацией интерпретатора логико-семантических моделей компьютерных систем, разрабатываемых по технологии OSTIS.

*Ключевые слова:* технология OSTIS, семантический ассоциативный компьютер, SC-код.

**Abstract.** The analysis of the problem of ensuring compatibility of computer systems was carried out. The basic principles underlying the OSTIS technology, one of the tasks of which is the solution of this problem was discussed. Special attention is paid to the principles of semantic associative computers construction, which are the hardware basis for the interpretation of systems developed on the basis of this technology.

*Keywords:* OSTIS technology, semantic associative computer, SC-code.

**Doklady BGUIR. 2019, Vol. 121, No. 3, pp. 42-50**

**Semantic technologies of intelligent systems design and semantic associative computers**

**V.V. Golenkov, N.A. Gulyakina, I.T. Davydenko, D.V. Shunkevich**

### Введение

Основная научная деятельность кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники связана с развитием проекта, направленного на создание и развитие технологии OSTIS – открытой семантической технологии компонентного проектирования гибридных и совместимых интеллектуальных систем. За последние 5 лет на кафедре получены результаты в направлениях, посвященных:

- решению проблемы интеграции знаний на основе однородных семантических сетей [1];
- разработке технологии проектирования семантических моделей гибридных баз знаний [2];
- разработке технологии проектирования совместимых решателей задач интеллектуальных систем [3].

Ключевой особенностью реализуемого проекта является его открытый характер, позволяющий любому желающему стать участником проекта и внести вклад в развитие технологии. Кафедра активно работает над расширением контингента участников проекта, которые бы способствовали как развитию технологии, так и ее внедрению в реальные прикладные проекты. Кафедра ведет ряд совместных научных работ как с другими кафедрами БГУИР, так и кафедрами других вузов, а также предприятиями Республики Беларусь. В частности, прогресс достигнут в направлениях:

- автоматизации предприятий рецептурного производства совместно с представителями ОАО «Савушкин продукт» [4];
- интеграции искусственных нейронных сетей с базами знаний [5];
- семантического анализа естественно-языковых текстов [6];
- семантического анализа речевых сообщений [7].

Основное внимание в рамках текущего этапа развития проекта OSTIS направлено на решение проблемы совместимости результатов научных исследований в области искусственного интеллекта. Эта проблема в настоящее время является ключевой, препятствующей активному развитию искусственного интеллекта.

В данной работе будет обоснована актуальность проблемы совместимости компьютерных систем, рассмотрены основные принципы, лежащие в основе предлагаемой технологии OSTIS и позволяющие решить указанную проблему. Отдельное внимание в работе уделено описанию принципов построения семантического ассоциативного компьютера, который является аппаратной платформой интерпретации семантических моделей компьютерных систем, проектируемых средствами технологии OSTIS.

### **Состояние и проблемы традиционных информационных технологий**

К недостаткам современных информационных технологий можно отнести:

- многообразие синтаксических форм представления одной и той же информации, т. е. многообразие семантически эквивалентных форм представления обрабатываемой информации 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 не процедурных), т. е. к дублированию моделей обработки информации, отличающихся не сутью способов решения задач, а формой представления обрабатываемой информации и формой представления способов 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;

- 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) [8];

- 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;

- 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;

- 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;

– 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 информации в памяти компьютерных систем, а результатом должен стать новый этап развития информационных технологий. Таким образом, преодоление недостатков современных компьютерных систем предполагает:

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

### **Проблемы развития технологий искусственного интеллекта**

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.

Для решения указанных выше проблем развития технологии искусственного интеллекта:

– продолжая разрабатывать новые формальные модели решения интеллектуальных задач и совершенствовать существующие модели (логические, нейросетевые, продукционные и т. д.), 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; предполагается, что решение каждой такой задачи требует совместного использования самых различных видов знаний и самых различных моделей решения задач, при этом используемые модели решения задач могут комбинироваться произвольным образом;

– 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 реализуются 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;

– необходимо, чтобы в решении 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.

### **Принципы открытой семантической технологии проектирования интеллектуальных систем**

Предлагаемое авторами решение проблем современных информационных технологий (в частности, технологий искусственного интеллекта) путем перехода к смысловому

представлению информации в памяти компьютерных систем [10] фактически преобразует современные компьютерные системы (в том числе и современные интеллектуальные системы) в семантические компьютерные системы, которые 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 практически совпадает с архитектурой интеллектуальных систем, основанных на знаниях. Отличия здесь заключаются в том, что в семантических компьютерных системах:

- база знаний имеет смысловое представление;
- интерпретатор знаний и навыков представляет собой коллектив агентов, осуществляющих обработку базы знаний и управляемых ситуациями и событиями в этой базе знаний.

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 ими знаний и навыков, а также на их совместное использование. Кроме того, предлагаемый подход к разработке семантических компьютерных систем практически исключает дублирование инженерных решений и дает возможность существенно ускорить разработку семантических компьютерных систем с помощью постоянно расширяемой библиотеки многократно используемых и совместимых между собой компонентов.

Очевидно, что семантические компьютерные системы являются компьютерными системами нового поколения, устраняющими 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 постоянного совершенствования самой технологии.

Предлагаемая авторами технология разработки семантических компьютерных систем названа технологией OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems) [10].

В основе этой технологии лежит SC-код – разработанный авторами 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 эксплуатации;
- средства построения и совершенствования этих систем, включая языковые средства, библиотеки типовых технических решений, а также инструментальные средства (средства синтеза и модификации; средства анализа, верификации, диагностики, тестирования; средства устранения обнаруженных ошибок и недостатков).

Следует 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 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.

В основе технологии OSTIS лежат следующие принципы:

- 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 [11], 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.

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;

- интеллектуальные персональные ассистенты (секретари, референты), осуществляющие персонифицированное информационное обслуживание, интеграцию доступных сервисов, мониторинг и контроль деятельности пользователей, включая системы комплексного индивидуального медицинского мониторинга и обслуживания;

- интеллектуальные системы управления различными предприятиями, организациями;

- интеллектуальные системы автоматизации проектирования различных классов искусственных систем на основе онтологических моделей;

- порталы научных знаний и семантические средства поддержки развития различных научно-технических направлений;

- интеллектуальные системы экскурсионного обслуживания;

- интеллектуальные робототехнические системы;

- умная среда жизнедеятельности (умный дом, умная дорога, умный город).

### **Принципы построения семантического ассоциативного компьютера**

Одной из важнейших особенностей систем, построенных на основе технологии OSTIS (ostis-систем), является их платформенная независимость, которая достигается путем четкого разделения унифицированной логико-семантической модели такой системы (sc-модели компьютерной системы) и универсального интерпретатора sc-моделей компьютерных систем.

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, хранилище знаковых конструкций, представленных в SC-коде);

- интерпретатор языка SCP (Semantic Code Programming) – базового процедурного языка программирования, ориентированного на обработку текстов SC-кода, хранимых в смысловой графовой ассоциативной памяти.

Принципы, лежащие в основе одного из вариантов программной реализации универсального интерпретатора sc-моделей компьютерных систем рассмотрены в работе [12]. Программная реализация интерпретатора может рассматриваться как специализированная графовая СУБД, обеспечивающая хранение текстов SC-кода и их обработку посредством интерпретации программ языка SCP. К достоинствам программной реализации интерпретатора можно отнести следующие:

- возможность заимствования опыта разработки современных систем такого рода, в частности, принципов представления и обработки графовых конструкций в памяти традиционных компьютерных систем, соответствующих структур данных, механизмов организации параллельной обработки;

– возможность заимствования в готовом виде некоторых компонентов, не имеющих непосредственного отношения к решаемым системой задачам, например, модуля авторизации пользователей, некоторых компонентов пользовательского интерфейса и т. д. Однако использование таких компонентов автоматически делает соответствующие *ostis*-системы зависимыми от конкретной реализации интерпретатора *sc*-моделей компьютерных систем;

– возможность участия в разработке интерпретатора специалистов по разработке традиционных программных систем.

Таким образом, программная реализация универсального интерпретатора *sc*-моделей компьютерных систем имеет ряд преимуществ, особенно актуальных на начальном этапе развития и внедрения технологии *OSTIS*. Однако такой вариант реализации имеет серьезный недостаток, связанный со сравнительно низкой производительностью систем, построенных на его основе. Одним из вариантов повышения производительности интерпретатора *sc*-моделей компьютерных систем является аппаратная реализация такого интерпретатора в виде специализированного компьютера, построенного на основе фон-неймановской архитектуры, т. е. фактически аппаратная реализация описанной ранее программной модели с сохранением традиционных принципов хранения и обработки информации. Такой вариант реализации будет обладать существенно более высокой производительностью по сравнению с программной моделью, однако реализация семантических моделей представления и обработки информации на основе традиционной фон-неймановской архитектуры все еще будет обладать значительно более низкой производительностью по сравнению с реализацией интерпретатора в виде семантического ассоциативного компьютера. Данный факт обусловлен следующими особенностями фон-неймановской логической организации вычислительных систем:

– последовательная обработка, ограничивающая эффективность компьютеров физическими возможностями элементной базы;

– низкий уровень доступа к памяти, т. е. сложность и громоздкость выполнения процедуры ассоциативного поиска нужного фрагмента знаний. Ускорить процесс доступа можно путем создания специализированной ассоциативной памяти, обеспечивающей ассоциативный доступ к произвольным фрагментам хранимых знаний (имеющим произвольные размеры и структуру). Кроме того, актуальной становится задача реализации обеспечения параллелизма при выполнении поисковых операций;

– линейная организация памяти и очень простой вид элементарных объектов, непосредственно хранимых в памяти. Это приводит к затруднениям при построении интеллектуальных систем, обусловленных тем, что, во-первых, приходится оперировать не самими структурами, а их громоздкими линейными представлениями (списками, матрицами смежности, матрицами инцидентности и т. д.), во-вторых, линейаризация сложных структур разрушает локальность их преобразований, так как локальному преобразованию сложной структуры далеко не всегда соответствует локальное преобразование ее линейного представления. Следует при этом отметить, что процесс переработки сложных информационных структур (знаний) носит в основном именно локальный характер;

– представление информации в памяти современных компьютеров практически не апеллирует к семантике представляемой информации, что сильно затрудняет переработку знаний за счет необходимости учета большого количества деталей, касающихся способа представления информации в памяти, а не ее смысла;

– в современных компьютерах имеет место весьма низкий уровень аппаратно реализуемых операций над нечисловыми данными и полностью отсутствует аппаратная поддержка логических операций над фрагментами знаний. Как следствие, в современных компьютерах громоздко реализуются даже простейшие процедуры логического вывода.

Таким образом, полноценное развитие технологии проектирования семантических компьютерных систем требует перехода к компьютерам, имеющим архитектуру, отличную от фон-неймановской. Такого рода реализация универсального интерпретатора семантических моделей компьютерных систем представляет собой семантический ассоциативный компьютер, то есть 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.

В основе семантического ассоциативного компьютера лежат следующие основные принципы:

- 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 (SC-код);

- 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);

- 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.

Язык SCP представляет собой графовый процедурный язык программирования низкого уровня, предназначенный для описания поведения агентов, работающих над семантической памятью и обладающий следующими основными особенностями:

- язык SCP ориентирован на обработку текстов SC-кода;

- программы языка SCP (scp-программы) также представляются в виде текстов SC-кода;

- язык SCP ориентирован на параллельную асинхронную обработку информации, хранимой в семантической памяти. При этом рассматривается параллельность как на уровне процессов, соответствующих разным scp-программам, так и на уровне подпрограмм, вызываемых в рамках некоторой программы, а также на уровне операторов в рамках одной программы;

- язык SCP использует ассоциативный доступ к фрагментам обрабатываемых текстов SC-кода.

Важно отметить, что, с одной стороны, каждая sc-модель компьютерной системы может совершенствоваться независимо от реализации универсального интерпретатора sc-моделей, с другой – каждая sc-модель компьютерной системы может легко переноситься с одного варианта реализации интерпретатора на другой, в том числе с программной на аппаратную.

Это означает, что различные варианты аппаратной реализации интерпретатора могут быть использованы для интерпретации разработанных ранее sc-моделей компьютерных систем, при этом различные варианты аппаратной реализации могут лучше или хуже подходить для решения задач конкретных классов.

### Заключение

В работе рассмотрены основные недостатки современных компьютерных систем, предложены подходы к их устранению, реализуемые в виде открытой семантической технологии проектирования интеллектуальных систем, а также рассмотрены принципы построения семантического ассоциативного компьютера как перспективного варианта аппаратной реализации универсального интерпретатора унифицированных логико-семантических моделей интеллектуальных систем.

### Список литературы

1. Ивашенко В.П. Модели и алгоритмы интеграции знаний на основе однородных семантических сетей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2014. 25 с.
2. Давыденко И.Т. Модели, методика и средства разработки гибридных баз знаний на основе семантической совместимости многократно используемых компонентов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2018. 25 с.
3. Шункевич Д.В. Агентно-ориентированные решатели задач интеллектуальных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2018. 25 с.
4. Design of batch manufacturing enterprises in the context of Industry 4.0 / V. Taberko [et al.] // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 307–320.
5. Integration of artificial neural networks and knowledge bases / V. Golovko [et al.] // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 119–132.
6. Knowledge acquisition based on natural language texts / N. Hubarevich [et al.] // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 199–206.
7. Zahariev V., Azarov E., Rusetski K. An approach to speech ambiguities eliminating using semantically-acoustical analysis // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 211–222.
8. Борисов А.Н. Построение интеллектуальных систем, основанных на знаниях, с повторным использованием компонентов // Материалы IV Междунар. техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2014)». Минск, 20–22 февраля 2014 г. С. 97–102.
9. Artificial General Intelligence [Electronic resource]. URL: <http://agi-conf.org/> (date of access: 22.05.2018).
10. Голенков В.В., Гулякина Н.А. Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Ч. 1: Принципы создания // Онтология проектирования. 2014. № 1. С. 42–64.
11. Метасистема IMS.ostis [Электронный ресурс]. URL: <http://ims.ostis.net> (дата обращения: 10.09.2018).
12. Корончик Д.Н. Реализация хранилища унифицированных семантических сетей // Материалы III Междунар. науч.-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2013)». Минск, 21–23 февраля 2013 г. С. 125–129.

### References

1. Ivashenko V.P. Modeli i algoritmy integracii znanij na osnove odnorodnyh semanticheskikh setej : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Minsk, 2014. 25 s. (in Russ.)
2. Davydenko I.T. Modeli, metodika i sredstva razrabotki gibridnyh baz znanij na osnove semanticheskoy sovmestimosti mnogokratno ispol'zuemyh komponentov: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Minsk, 2018. 25 s. (in Russ.)
3. Shunkevich D.V. Agentno-orientirovannye reshateli zadach intellektual'nyh sistem: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Minsk, 2018. 25 s. (in Russ.)
4. Design of batch manufacturing enterprises in the context of Industry 4.0 / V. Taberko [et al.] // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 307–320.
5. Integration of artificial neural networks and knowledge bases / V. Golovko [et al.] // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 119–132.
6. Knowledge acquisition based on natural language texts / N. Hubarevich [et al.] // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 199–206.



7. Zahariev V., Azarov E., Rusetski K. An approach to speech ambiguities eliminating using semantically-acoustical analysis // Open semantic technologies for intelligent systems. 2018. № 2. P. 211–222.
8. Borisov A.N. Postroenie intellektual'nyh sistem, osnovannyh na znanijah, s povtornym ispol'zovaniem komponentov // Materialy IV Mezhdunar. tehn. konf. «Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovanija intellektual'nyh sistem (OSTIS-2014)». Minsk, 20–22 fevralja 2014 g. S. 97–102. (in Russ.)
9. Artificial General Intelligence [Electronic resource]. URL: <http://agi-conf.org/> (date of access: 22.05.2018).
10. Golenkov V.V., Guljakina N.A. Proekt otkrytoj semanticheskoy tehnologii komponentnogo proektirovanija intellektual'nyh sistem. Ch. 1: Principy sozdaniya // Ontologija proektirovanija. 2014. № 1. S. 42–64. (in Russ.)
11. Metasistema IMS.ostis [Electronic resource]. URL: <http://ims.ostis.net> (date of access: 10.09.2018).
12. Koronchik D.N. Realizacija hranilishha unificirovannyh semanticheskikh setej // Materialy III Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovanija intellektual'nyh sistem (OSTIS-2013)». Minsk, 21–23 fevralja 2013 g. S. 125–129.

#### **Сведения об авторах**

Голенков В.В., д.т.н, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Гулякина Н.А., к.ф.-м.н, доцент, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Давыденко И.Т., к.т.н, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Шункевич Д.В., к.т.н, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

#### **Information about the authors**

Golenkov V.V., D.Sci, professor, head of the department of intelligent information technologies of Belarusian State university of informatics and radioelectronics.

Gulyakina N.A., PhD, associate professor, associate professor of the department of intelligent information technologies of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Davydenko I.T., PhD, associate professor of the department of intelligent information technologies of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Shunkevich D.V., PhD, associate professor of the department of intelligent information technologies, Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

#### **Адрес для корреспонденции**

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-17-293-23-24;  
e-mail: [golen@bsuir.by](mailto:golen@bsuir.by)  
Голенков Владимир Васильевич

#### **Address for correspondence**

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6  
Belarusian state university  
of informatics and radioelectronics  
tel. +375-17-293-23-24;  
e-mail: [golen@bsuir.by](mailto:golen@bsuir.by)  
Golenkov Uladzimir Vasil'evich