

УДК 004.89, 006.05

## **Основные принципы стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий**

**А. Г. Скуратов**

Белорусский государственный институт  
стандартизации и сертификации,  
Минск

**М. Ю. Чащин**

Центр цифрового развития,  
Минск, Беларусь

**Д. В. Шункевич**

Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
Минск

Стандартизация является необходимой основой для развития любой технологии, поскольку представляет инструмент для всеобщего и многократного использования различных устройств, компонентов, методов решения различных задач, а также основой для согласованного взаимодействия всех участников процесса применения и совершенствования указанной технологии. Не являются исключением и технологии искусственного интеллекта, которые бурно развиваются уже несколько десятилетий и в настоящее время применяются в самых разных областях человеческой деятельности.

Текущее состояние технологий искусственного интеллекта характеризуется тем, что имеется большой набор частных технологий искусственного интеллекта с соответствующими инструментальными средствами, но отсутствует общая теория интеллектуальных систем и, как следствие, – общая комплексная технология разработки и модернизации интеллектуальных компьютерных систем. При этом совместимость частных технологий искусственного интеллекта практически не осуществляется и, более того, отсутствует осознание такой необходимости [1–4]. Данная проблема не позволяет говорить о возможности конвергенции различных направлений искусственного интеллекта, что, в свою очередь, является препятствием для комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

Необходимым условием решения указанной проблемы является унификация (стандартизация) различных моделей и методов искусственного интеллекта на некоторой общей универсальной и формальной основе.

Попытки стандартизации в области искусственного интеллекта предпринимаются достаточно давно, однако существующие стандарты обладают рядом значимых недостатков, ключевыми из которых является отсутствие необходимого уровня формализации и строгости используемых определений, а также отсутствие унификации в рамках различных частных направлений искусственного интеллекта.

К настоящему моменту такая сфера науки и техники, как искусственный интеллект, представляет собой целое семейство различных более частных направлений, подходов, моделей, методов и средств. Основной целью указанных направлений, по сути, является повышение уровня интеллекта компьютерных систем, переход от так называемого «слабого» искусственного интеллекта к «сильному». Для большинства направлений искусственного интеллекта характерна несогласованность системы понятий и, как следствие, отсутствие их семантической совместимости и конвергенции. Все это препятствует построению общей (с высоким уровнем формализации) теории интеллектуальных систем и является следствием отсутствия понимания и мотивации в необходимости проведения конвергенции между различными направлениями. Поскольку нет острой практической необходимости, то отсутствует и движение, направленное на построение общей теории интеллектуальных систем [5].

В то же время расширение областей применения интеллектуальных компьютерных систем предъявляет к ним принципиально новые требования. Для комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности у современных компьютерных систем явно не хватает интеллекта и самостоятельности. Все более актуальным является создание интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, обладающих высоким уровнем интероперабельности. Необходимость перехода от современных компьютерных систем (в том числе и от современных интеллектуальных компьютерных систем) к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения обусловлена необходимостью перехода к автоматизации все более и более сложных видов и областей человеческой деятельности, требующих создания целых комплексов интеллектуальных компьютерных систем, способных самостоятельно эволюционировать и эффективно взаимодействовать между собой в процессе коллективного решения сложных задач [6].

Под интероперабельностью в данном случае [7] понимается не просто обеспечение совместимости систем на уровне технической реализации (согласование протоколов взаимодействия, программных интерфейсов и т. д.),

а обеспечение их семантической совместимости и способности к коллективному решению сложных задач. Это предполагает существенное развитие и повышение уровня формализации теории интеллектуальных компьютерных систем, переосмысление существующих технологий их разработки и сопровождения в контексте обеспечения их конвергенции. В свою очередь, для того чтобы обеспечить широту сфер применения такой технологии и ее жизнеспособность, необходимо говорить о дополнительном требовании, предъявляемом уже к самой технологии, – ее комплексности в двух разных аспектах: обеспечении разработки и сопровождения интеллектуальных компьютерных систем любых классов, а также поддержке всех этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем и их компонентов.

С учетом комплексности технологии важной особенностью должен стать ее открытый характер, предполагающий, с одной стороны, возможность участия в ее разработке ученых из различных областей науки независимо от их территориального расположения, с другой стороны – возможность интеграции любых результатов в области искусственного интеллекта, как уже полученных, так и тех, что будут получены в будущем. В противном случае достичь комплексности технологии в обоих аспектах не представляется возможным. При этом должна быть создана единая архитектурная и технологическая основа, позволяющая аккумулировать новые результаты, подходы и концепции и определяющая технологическое развитие искусственного интеллекта.

Таким образом, в настоящее время являются актуальными две задачи: перехода от современных интеллектуальных компьютерных систем к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения и соответствующей комплексной технологии их разработки и модернизации; стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей технологии. В качестве основы для такой стандартизации предлагается использовать смысловое представление информации [8, 9].

В данной работе будет предложен перечень стандартов, которые предлагается разработать на первом этапе стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей технологии, а также подход к разработке такого семейства стандартов, как базы знаний интеллектуальной компьютерной метасистемы, построенной на основе указанной технологии.

### **Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения и соответствующие им технологии**

В качестве комплексной технологии разработки и модернизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения предлагается

Технология OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems). В настоящее время разработана стартовая версия указанной технологии, результаты в области разработки этой технологии и детальное обоснование ее создания отражены в работах [8, 9].

Интеллектуальные компьютерные системы, разрабатываемые по данной технологии, названы *ostis*-системами. Ключевым элементом Технологии OSTIS является специальная *ostis*-система – Метасистема OSTIS, база знаний которой содержит формальную теорию *ostis*-систем, стандарт *ostis*-систем и Технологии OSTIS (Стандарт OSTIS), ядро библиотеки многократно используемых компонентов *ostis*-систем (библиотеки OSTIS), а также методики и инструментальные средства поддержки жизненного цикла *ostis*-систем и их компонентов.

В основе Технологии OSTIS лежит универсальный способ смыслового представления (кодирования) информации в памяти интеллектуальных компьютерных систем, названный *SC*-кодом. Тексты *SC*-кода (*sc*-тексты, *sc*-конструкции) – это унифицированные семантические сети с базовой теоретико-множественной интерпретацией. Универсальность и унифицированность *SC*-кода позволяет описывать на его основе любые виды знаний и любые методы решения задач, что, в свою очередь, значительно упрощает их интеграцию как в рамках одной системы, так и в рамках коллектива таких систем.

Архитектура *ostis*-системы предполагает наличие в ее составе базы знаний, решателя задач и интерфейса *ostis*-системы. Основу базы знаний, разрабатываемой по Технологии OSTIS, составляет иерархическая система унифицированных и совместимых семантических моделей предметных областей и онтологий. Основу решателя задач *ostis*-системы составляет совокупность агентов, взаимодействующих исключительно посредством спецификации выполняемых ими информационных процессов в семантической памяти (*sc*-агентов). Интерфейс *ostis*-системы (в том числе пользовательский интерфейс) рассматривается как специализированная подсистема, ориентированная на решение задач взаимодействия *ostis*-системы с внешней средой, в том числе с пользователем.

Одним из ключевых принципов Технологии OSTIS является платформенная независимость *ostis*-систем, предполагающая, что каждая *ostis*-система состоит из полной модели этой системы, описанной средствами *SC*-кода (*sc*-модели) и платформы интерпретации таких *sc*-моделей. В общем случае такая платформа может быть реализована как в программном варианте на базе современных компьютеров, так и в специализированном аппаратном варианте, названном ассоциативным семантическим компьютером [9].

Все перечисленные принципы в совокупности позволяют обеспечить семантическую совместимость и упростить интеграцию как различных компонентов компьютерных систем, так и самих таких систем.

Актуальный этап развития Технологии OSTIS – переход от индивидуальных ostis-систем к сообществу интероперабельных ostis-систем – глобальной Экосистеме OSTIS. Экосистема OSTIS – социотехническая экосистема, представляющая собой коллектив взаимодействующих семантических компьютерных систем и осуществляющая перманентную поддержку эволюции и семантической совместимости всех входящих в нее систем на протяжении всего их жизненного цикла [8, 9]. Экосистема OSTIS является основой для комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

Для реализации принципов Технологии OSTIS необходима стандартизация соответствующих моделей как на уровне платформы интерпретации sc-моделей, так и на уровне sc-моделей отдельных ostis-систем и на уровне Экосистемы OSTIS.

### **Структура стандарта интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий**

С учетом рассмотренной ранее архитектуры интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и принципов, лежащих в основе соответствующей комплексной технологии их разработки и модернизации, а также уровней, на которых необходима стандартизация, предлагается разработать первую версию согласованной серии стандартов, включающей следующие документы:

1. Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения. Общие положения и термины.
2. Унифицированный язык кодирования информации в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения. Синтаксис и базовая семантика языка.
3. Базы знаний интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Принципы разработки и структуризации баз знаний. Онтологии верхнего уровня.
4. Решатели задач интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Принципы построения решателей задач. Базовый язык программирования для интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.
5. Пользовательские интерфейсы интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Принципы построения пользовательских интерфейсов. Базовые языки внешнего представления информации.
6. Методы и средства разработки интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.
7. Платформы реализации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Программная платформа.
8. Аппаратная платформа для реализации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

9. Экосистема интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

На данный момент авторами уже разработана и издана в виде коллективной монографии первая версия описания Технологии OSTIS [8], а также существенно расширенная и доработанная версия указанной монографии [9]. Данные материалы предлагается положить в основу разработки рассмотренной выше серии стандартов. Кроме того, при разработке указанной серии стандартов необходимо учесть содержание уже существующих стандартов в данной области, как отечественных, так и зарубежных, выявить и устранить возможные нестыковки и дублирования. Так, в 2017 г. в международном объединенном техническом комитете ISO и IEC был создан подкомитет ISO/IEC JTC 1/SC 42 "Artificial intelligence". Технический комитет издал уже ряд стандартов, которые необходимо будет изучить при разработке предлагаемой серии стандартов. Среди них: «процессы жизненного цикла системы искусственного интеллекта», «эталонная архитектура инженерии знаний», «понятия и терминология искусственного интеллекта» и ряд других стандартов. В 2023 г. комитету, закладывающему основы для будущего искусственного интеллекта, была присуждена премия имени Лоуренса Д. Эйчера.

### **Принципы разработки стандарта интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий**

Несмотря на развитие информационных технологий, в настоящее время подавляющее большинство стандартов представлено либо в виде традиционных линейных документов, либо в виде веб-ресурсов, содержащих набор статических страниц, связанных гиперссылками. Такой подход к форме представления стандартов имеет ряд недостатков, которые в конечном итоге приводят к тому, что накладные расходы на поддержку жизненного цикла и применение стандарта часто фактически превышают выгоду от его использования [10, 11].

Перечислим наиболее важные и общие проблемы, связанные с развитием и применением современных стандартов в различных областях [10, 12]:

- дублирование информации в рамках документа, описывающего стандарт;
- трудоемкость поддержки самого стандарта, обусловленная в том числе дублированием информации, в частности трудоемкость изменения терминологии;
- проблема интернационализации стандарта – фактически перевод стандарта на несколько языков приводит к необходимости поддержки и согласования независимых версий стандарта на разных языках;
- неудобство применения стандарта, в частности трудоемкость поиска необходимой информации, как следствие – трудоемкость изучения стандарта;

– несогласованность формы различных стандартов между собой, как следствие – трудоемкость автоматизации процессов развития и применения стандартов;

– трудоемкость автоматизации проверки соответствия объектов или процессов требования того или иного стандарта.

Для решения указанных проблем предлагается разработку семейства стандартов интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующих им технологий осуществлять в виде базы знаний интеллектуальной метасистемы, построенной на основе той же технологии (Метасистемы OSTIS). Соответственно, необходимо разработать средства развития указанного стандарта (как и других стандартов) распределенным коллективом разработчиков в виде открытого проекта на базе международной практики стандартизации.

Общие преимущества указанного подхода к разработке стандартов заключаются в следующем:

1. Исключение дублирования информации.
2. Снижение трудоемкости поддержки и развития стандарта. Очевидно, что реализация стандарта в виде интеллектуальной компьютерной метасистемы подразумевает необходимость технической поддержки и развития самой такой метасистемы. Однако если эта метасистема будет реализована по тем же принципам, что и другие интеллектуальные компьютерные системы, разрабатываемые на основе указанного стандарта, то трудоемкость ее сопровождения будет существенно снижена.
3. Простота интернационализации стандарта.
4. Удобство применения стандарта, в частности поиска нужной информации.
5. Автоматизация процессов верификации стандарта (семейства стандартов).
6. Унификация формы и согласованность различных стандартов.
7. Автоматизация процессов проверки соответствия стандарту.

Важно отметить, что предлагаемый подход к разработке стандартов не предполагает ограничений по содержанию результатов, а лишь предъявляет требования к уровню формализации результатов и форме их представления.

Преимущества предлагаемого подхода к разработке стандартов в контексте интеллектуальных компьютерных систем нового поколения заключаются в следующем:

- реализации компонентного подхода путем накопления библиотек совместимых компонентов интеллектуальных компьютерных систем;
- минимизации числа функционально эквивалентных компонентов;
- автоматизации процессов приведения интеллектуальных компьютерных систем и их компонентов в соответствие актуальной версии стан-

дарта в случае, если речь идет об обновлении компонентов ostis-систем, разработанных на основе предыдущих версий стандарта;

- возможности решения сложных задач коллективами интеллектуальных компьютерных систем за счет обеспечения их интероперабельности;
- как следствие – комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

Стоит отметить, что предлагаемый подход к разработке и развитию стандартов уже успешно апробирован на стандартах из различных областей:

1. Совместно с представителями ОАО «Савушкин продукт» частично формализованы в виде базы знаний стандарты ANSI/ISA88 и ANSI/ISA-5.1 [11].

2. Активно ведется работа по формализации стандартов в области ЖКХ (водоотведение) [13], транспорта (ж/д сообщение) [14], медицины [15], энергетики и др.

В работе обоснована актуальность перехода к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения и соответствующей открытой комплексной технологии их разработки и модернизации. Предложен перечень стандартов, разработка которых необходима для реализации принципов указанной технологии, а также подход к разработке стандартов в виде базы знаний интеллектуальной компьютерной системы нового поколения, показаны преимущества такого подхода.

#### Список использованных источников

1. Болотова, Л. С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях : учебник / Л. С. Болотова. – М. : Финансы и статистика, 2023. – 666 с.

2. Осипов, Г. С. Методы искусственного интеллекта / Г. С. Осипов. – М. : Физматлит, 2011. – 296 с.

3. Колесников, А. В. Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки / А. В. Колесников. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001. – 710 с.

4. Artificial Intelligence Standardization Is a Key Challenge for the Technologies of the Future / V. Golenkov, N. A. Gulyakina, V. A. Golovko, V. V. Krasnoproshin // 10th Intern. Conf. Open Semantic Technologies for Intelligent System (OSTIS-2020), Minsk, 19–22 Feb. 2020 / Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics ; eds.: V. Golenkov [et. al.]. – Minsk, 2020. – P. 1–21. – DOI: 10.1007/978-3-030-60447-9\_1.

5. On the Current State and Challenges of Artificial Intelligence / V. Golenkov, N. Guliakina, V. Golovko, V. Krasnoproshin // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. Communications in Computer and Information Science. – 2022. – Vol. 1625. – DOI: 10.1007/978-3-031-15882-7\_1.

6. Golenkov, V. The main directions, problems and prospects of the development of the next-generation intelligent computer systems and the corresponding technology / V. Golenkov, N. Gulyakina // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 15–26.

7. Михневич, С. Ю. Эволюция понятия интероперабельности открытых информационных систем / С. Ю. Михневич, А. А. Тежар // Цифровая трансформация. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 60–66.

8. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск : Бестпринт, 2021. – 690 с.

9. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – 1064 с.

10. Концепция инфраструктуры стандартизации как базы знаний на основе онтологий / П. С. Серенков, В. Л. Соломахо, В. А. Нифагин, А. А. Минова // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2004. – № 5. – С. 25–29.

11. Ontological Approach for Standards Development Within Industry 4.0. / V. Taberko, D. Ivaniuk, D. Shunkevich, O. Pupena // Open Semantic Technologies for Intelligent System. Communications in Computer and Information Science. – Vol. 1282. – DOI: 10.1007/978-3-030-60447-9\_5.

12. Углев, В. А. Актуализация содержания стандартов проектирования сложных технических объектов: онтологический подход / В. А. Углев // Онтология проектирования. – 2012. – № 1. – С. 80–86.

13. Shtepa, V. N. Applied Aspects of Using OSTIS Technology in Information Support of Digitalisation of Water Use Processes of Dairy Processing Enterprises / V. N. Shtepa, E. N. Muslimov // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 171–176.

14. Erofeev, A. Basic Principles of the Ontology of the Transportation Process in Railway Transport / A. Erofeev, I. Erofeev // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 183–188.

15. Rostovtsev, V. Intelligent health monitoring systems / V. Rostovtsev // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 237–240.