

ПРИНЦИПЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИМ ТЕХНОЛОГИЙ

А. Г. СКУРАТОВ, директор научно-производственного республиканского унитарного предприятия «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации»

М. Ю. ЧАЩИН, заместитель директора республиканского унитарного предприятия «Центр цифрового развития», председатель технического комитета по стандартизации «Цифровая трансформация»

В. В. ГОЛЕНКОВ, профессор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, профессор

Д. В. ШУНКЕВИЧ, заведующий кафедрой Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, кандидат технических наук, доцент

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

SUMMARY

A. SKURATOV, M. CHASHCHIN, V. GOLENKOV, D. SHUNKEVICH

PRINCIPLES OF STANDARDIZATION OF NEXT GENERATION INTELLIGENT COMPUTER SYSTEMS AND THEIR CORRESPONDING TECHNOLOGIES

The paper substantiates the relevance of the transition to next generation intelligent computer systems and the corresponding open complex technology of their development and modernization. The list of standards, the development of which is necessary for the realization of the principles of this technology is proposed. The approach to the development of standards in the form of a knowledge base of a next generation intelligent computer system is proposed, the advantages of this approach are shown.



Ключевые слова: *искусственный интеллект, стандартизация компьютерных систем, семантические технологии, онтологии, Технология OSTIS.*

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 является основой для согласованного взаимодействия всех участников процесса применения и совершенствования указанной технологии. Не являются исключением и технологии искусственного интеллекта (далее – ИИ), которые бурно развиваются уже несколько десятилетий и в настоящее время применяются в самых разных областях человеческой деятельности.

Текущее состояние технологий ИИ характеризуется тем, что имеется большой набор частных технологий ИИ 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 ИИ практически не осуществляется и, более того, отсутствует осознание такой необходимости [1–7]. Данная проблема не позволяет говорить о возможности конвергенции различных направлений ИИ, 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 ИИ на некоторой общей универсальной и формальной основе, которая позволила бы

снизить трудоемкость интеграции различных моделей и методов ИИ при разработке гибридных интеллектуальных систем, а также обеспечила бы возможность накапливать уже готовые совместимые компоненты интеллектуальных систем для их повторного использования.

Попытки стандартизации в области ИИ предпринимаются достаточно давно. Рассмотрим ряд определений понятия «искусственный интеллект», которые приводятся в рамках соответствующих стандартов:

- раздел информатики, посвященный разработке систем обработки данных, которые выполняют функции, обычно связанные с человеческим интеллектом, такие как рассуждение, обучение и самосовершенствование (ISO/IEC 2382:2015 «Информационные технологии. Словарь»);

- комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайта) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека (ГОСТ Р 59277-2020 «Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта»);

- способность технической системы имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека (ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения»).

Нетрудно заметить, что приведенные определения обладают рядом существенных недостатков. С одной стороны, они сформулированы в неформальном описательном ключе, что затрудняет их применение на практике. С другой стороны, отсутствие формализации приводит к путанице и смешиванию понятий. Под ИИ понимается одновременно и научное направление, и комплекс технологий, и способность технической системы к решению задач определенных классов. Приведенный пример, как и многие другие, позволяет сделать вывод о том, что проблема стандартизации в области ИИ остается актуальной.

К настоящему моменту такое направление, как ИИ, представляет собой целое семейство различных более частных направлений, подходов, моделей, методов и средств. К числу современных наиболее активно развиваемых направлений развития интеллектуальных систем можно отнести [8]:

- управление знаниями и онтологический инжиниринг (Semantic Web);
- формальные логики (четкие, нечеткие, дедуктивные, индуктивные, абдуктивные, дескриптивные, темпоральные, пространственные и др.);
- искусственные нейросети (включая большие языковые модели или LLM), 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;
- гибридные интеллектуальные системы, синергетические интеллектуальные системы.

Основной целью всех перечисленных направлений по сути является повышение уровня интеллекта компьютерных систем, переход от так называемого слабого ИИ к сильному. При этом для большинства направлений ИИ 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, 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 [9]. Данный факт является ключевой особенностью ИИ как области стандартизации: вследствие отсутствия комплексной теории и технологий разработки интеллектуальных систем стандартизация осуществляется либо только локально в рамках отдельных направлений искусственного интеллекта, либо на уровне общих рекомендаций по разработке и внедрению технологий ИИ (например, в рамках ISO/IEC 42001). С другой стороны, из-за наличия большого количества частных обособленно развивающихся направлений ИИ специалистами еще не до конца осознана необходимость в комплексной стандартизации этой сферы в целом, стирании барьеров между указанными направлениями и обеспечении их конвергенции.

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 [10].

Под интероперабельностью в данном случае [11] 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. Для того чтобы обеспечить широту сфер применения такой технологии и

ее жизнеспособность, необходимо говорить о дополнительном требовании, предъявляемом уже к самой технологии, – ее сложности в двух разных аспектах:

- сложность объекта разработки и сопровождения, предполагающая, что технология обеспечивает разработку и сопровождение интеллектуальных компьютерных систем любых классов, а также любых компонентов интеллектуальных компьютерных систем. Это необходимо для обеспечения совместимости всех компонентов интеллектуальных компьютерных систем и систем разных классов, и как следствие – их интероперабельности;

- сложность с точки зрения поддержки всех этапов жизненного цикла интеллектуальных компьютерных систем и их компонентов. Необходимость данного аспекта обусловлена тем, что разработка технологии проектирования интеллектуальных компьютерных систем нового поколения без разработки технологий их сопровождения, совершенствования и эксплуатации в перспективе будет повышать трудоемкость внедрения таких систем, снижать эффективность их применения.

С учетом сложности технологии важной особенностью должен стать ее открытый характер, предполагающий, с одной стороны, возможность участия в разработке ученых из различных областей науки независимо от их территориального расположения, с другой – возможность интеграции любых результатов в области ИИ. В противном случае достичь сложности 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 ИИ.

Таким образом, в настоящее время являются актуальными следующие задачи:

- переход от интеллектуальных компьютерных систем к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения, обладающим высоким уровнем интероперабельности, и соответствующей комплексной технологии их разработки и модернизации;

- стандартизация интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей технологии. В качестве основы для такой стандартизации предлагается использовать смысловое представление информации [12, 13].

В данной работе будет предложен перечень стандартов, которые предлагается разработать на первом этапе стандартизации интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей технологии (Технологии OSTIS), а также подход к разработке такого семейства стандартов как базы знаний интеллектуальной компьютерной метасистемы, построенной на основе указанной технологии. Разработка предлагаемого перечня стандартов является актуальной, в первую очередь, по причине того, что предлагаемый перечень стандартов является основой для интеграции существующих направлений ИИ и соответствующих стандартов, что, в свою очередь, является необходимым условием для построения общей теории и технологии разработки интеллектуальных систем. Данный аспект позволяет решить фундаментальную методологическую проблему текущего состояния области ИИ – отсутствие унификации и конвергенции различных его направлений, что приводит к значительным дополнительным трудозатратам при разработке интеллектуальных систем, создает серьезные препятствия на пути к комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

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 ее стартовая версия, результаты в области разработки и детальное обоснование отражены в [12, 13].

Интеллектуальные компьютерные системы, разрабатываемые по этой технологии, названы ostis-системами. Сама Технология OSTIS реализуется в форме специальной ostis-системы – Метасистемы 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. С расширением сфер применения Технологии OSTIS и числа участников открытого проекта по ее развитию также могут быть выделены частные технологии, ориентированные на разработку и сопровождение компонентов ostis-систем отдельных классов (компонентов баз знаний, компонентов решателей задач и т. д.) и/или разработку и сопровождение ostis-систем отдельных классов (обучающих ostis-систем, ostis-систем автоматизации производства и т. д.). Таким образом, в будущем можно говорить об иерархическом комплексе технологий разработки ostis-систем и их классов.

В основе Технологии OSTIS лежит универсальный способ смыслового представления (кодирования) информации в памяти интеллектуальных компьютерных систем, назван-

ный SC-кодом. Тексты SC-кода (sc-тексты, sc-конструкции) – это унифицированные семантические сети с базовой теоретико-множественной интерпретацией. Элементы таких семантических сетей названы sc-элементами (sc-узлами и sc-коннекторами, которые в зависимости от ориентированности могут быть sc-дугами или sc-ребрами). Универсальность и унифицированность SC-кода позволяет описывать на его основе любые виды знаний и методы решения задач, что значительно упрощает их интеграцию как в рамках одной системы, так и в рамках коллектива таких систем.

Основу базы знаний, разрабатываемой по Технологии OSTIS, составляет иерархическая система семантических моделей предметных областей и онтологий, среди которых выделяется универсальное Ядро семантических моделей баз знаний и методика разработки семантических моделей баз знаний, обеспечивающих семантическую совместимость разрабатываемых баз знаний. 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 пользо-

вательский интерфейс) рассматривается как специализированная подсистема, ориентированная на решение задач взаимодействия ostis-системы с внешней средой, в том числе с пользователем.

На рисунке показана архитектура ostis-системы, отражающая еще один ключевой принцип Технологии OSTIS – платформенную независимость ostis-систем. В соответствии с указанным принципом 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 в программном варианте на базе современных компьютеров и специализированном аппаратном варианте, названном ассоциативным семантическим компьютером [13].

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

В рамках Технологии OSTIS предложено несколько универсальных вариантов визуализации конструкций SC-кода: графический (SCg-код), линейный (SCs-код) и двумерный форматированный (SCn-код), рассматриваемый как расширение SCs-кода.

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 пер-

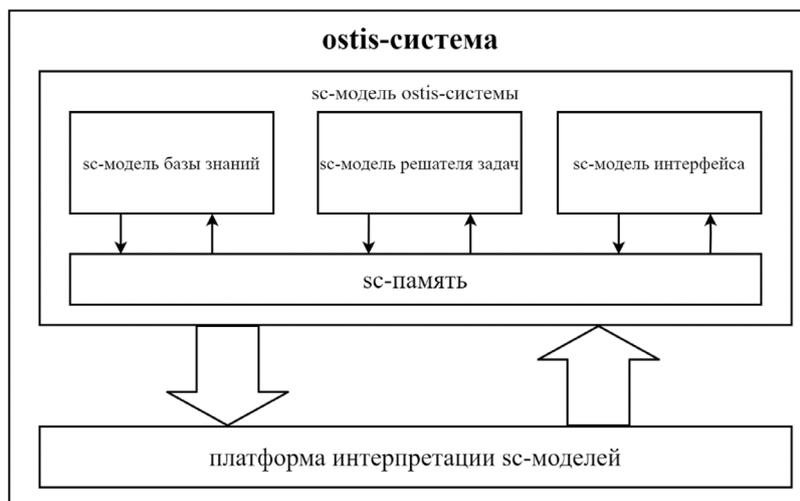


Рисунок – Архитектура ostis-системы

манентную поддержку эволюции и семантической совместимости всех входящих в нее систем на протяжении их жизненного цикла [12–14]. Экосистема OSTIS является основой для комплексной автоматизации различных сфер человеческой деятельности.

Для реализации принципов Технологии OSTIS необходима стандартизация соответствующих моделей на нескольких уровнях:

- платформы интерпретации sc-моделей компьютерных систем;
- sc-моделей отдельных ostis-систем, включая базовый язык представления информации (SC-код), sc-модели баз знаний, решателей задач, интерфейсов ostis-систем;
- Экосистемы OSTIS, то есть на уровне коллективов взаимодействующих ostis-систем для обеспечения их интероперабельности.

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 (см. таблицу).

Как видно, приведенный перечень стандартов является достаточно общим, детальное содержание указанных стандартов планируется уточнять на этапе формирования технического задания по разработке.

На данный момент авторами уже разработана и издана в виде коллективной монографии первая версия описания Технологии OSTIS [12], а также существенно расширенная и доработанная версия указанной монографии [13]. Указанные материалы предлагается положить в основу разработки рассмотренной выше серии стандартов. Кроме того, 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 объединенном техническом комитете ISO/IEC был создан подкомитет ISO/IEC JTC 1/SC 42 «Искусственный интеллект». Технический комитет издал ряд стандартов, которые необходимо будет из-

Таблица – Предлагаемый перечень стандартов для разработки

№	Название
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.

учить при разработке предлагаемой серии. Среди них – касающиеся процессов жизненного цикла системы ИИ, эталонной архитектуры инженерии знаний, понятий и терминологии ИИ и др. Отдельно стоит отметить серию ISO/IEC 24029 в области искусственных нейронных сетей, которая создается на основе целостного экосистемного подхода. В 2023 г. комитету была присуждена премия имени Лоуренса Д. Эйкера.

Важно отметить, что предлагаемая серия стандартов никак не противоречит уже существующим в мире. Ее цель – обеспечить общую технологическую базу, которая станет основной для интеграции различных направлений ИИ, на основе которой можно интегрировать и адаптировать существующие в мире частные стандарты, а также общие стандарты, касающиеся аспектов внедрения и сопровождения интеллектуальных систем, вопросов этики в ИИ и других важных направлений, не связанных непосредственно с технологиями разработки интеллектуальных систем.

В процессе разработки рассматриваемой серии стандартов предлагается выделить несколько этапов, основываясь на существующих нормативных документах в данной области:

- формирование «дорожной карты» разработки серии стандартов, уточнение перечня и содержания стандартов, составление, согласование и утверждение технического задания по их разработке;
- разработка проектов стандартов согласно техническому заданию;
- обсуждение проектов стандартов со специалистами в области ИИ, а также разработчиками отраслевых стандартов и представителями предприятий, активно внедряющих технологии ИИ, сбор отзывов;
- экспертиза, утверждение и апробация разработанных стандартов.

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 web-ресурсов, содержащих набор статических страниц, связанных гиперссылками. Такой подход к форме представления стандартов имеет ряд существенных недостатков, которые в конечном итоге приводят к тому, что накладные расходы на поддержку жизненного цикла и применение стандарта часто фактически превышают выгоду от его применения [15, 16].

Перечислим наиболее важные и общие проблемы, связанные с развитием и применением современных стандартов в различных областях [15–17]:

- дублирование информации в рамках документа, описывающего стандарт;
- трудоемкость поддержки, обусловленная в том числе дублированием информации, в частности трудоемкость изменения терминологии;
- проблема интернационализации: фактически перевод стандарта на несколько языков приводит к необходимости поддержки и согласования независимых версий стандарта на разных языках;
- неудобство применения, в частности трудоемкость поиска необходимой информации. Как следствие – трудоемкость изучения стандарта;
- несогласованность формы различных стандартов между собой, как следствие – трудоемкость автоматизации процессов их развития и применения;

– трудоемкость автоматизации проверки соответствия объектов или процессов требованиям 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.

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 в контексте интеллектуальных компьютерных систем нового поколения следующие:

- реализация компонентного подхода путем накопления библиотек совместимых компонентов интеллектуальных компьютерных систем;
- минимизация числа функционально эквивалентных компонентов;
- автоматизация процессов приведения интеллектуальных компьютерных систем и их компонентов в соответствие актуальной версии стандарта. В данном случае можно говорить о возможности полной автоматизации в случае, если речь идет об обновлении компонентов ostis-систем, разработанных на основе предыдущих версий стандарта. В случае же, если речь идет о приведении современных компьютерных систем в соответствие разработанным стандартам, то полностью автоматизировать данный процесс в ближайшее время вряд ли представляется возможным, однако возможна его частичная автоматизация;



– возможность решения сложных задач коллективами интеллектуальных компьютерных систем за счет обеспечения их интероперабельности;

- как следствие – комплексная автоматизация различных сфер человеческой деятельности.

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

- совместно с представителями ОАО «Савушкин продукт» частично формализованы в виде базы знаний стандарты ANSI/ISA88 и ANSI/ISA-5.1 [16, 18];
- активно ведется работа по формализации стандартов в области ЖКХ (водоотведение) [19], транспорта (железнодорожное сообщение) [20], медицины [21], энергетики и др.

Как показывает опыт внедрения предлагаемого подхода к разработке стандартов в области рецептурного производства (ANSI/ISA88 и ANSI/ISA-5.1), применение Технологии OSTIS как основы для разработки и внедрения стандартов позволяет, с одной стороны, обе-

спечить перечисленные выше преимущества, связанные с разработкой стандарта в виде базы знаний, а с другой стороны – обеспечить интеграцию стандарта с непосредственно самими информационными системами, работающими на его основе, что создает дополнительные преимущества, такие как обеспечение информационной поддержки сотрудников.

Так, разработанная для ОАО «Савушкин продукт» информационная система, база знаний которой содержит формализованные фрагменты стандартов рецептурного производства, интегрирована с существующей на предприятии системой автоматизации, что позволяет, работая непосредственно с указанной системой автоматизации, задавать вопросы об используемых понятиях стандарта, регламентирующего ее работу [16, 18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процессы разработки и внедрения стандартов, в особенности в такой сложной и разносторонней области, как ИИ, сопряжены с целым рядом технических, экономических, юридических, политических и иных трудностей, однако авторы данной работы выражают надежду на то, что высказанные предложения найдут поддержку в среде специалистов как в области стандартизации, так и ИИ, что позволит преодолеть названные трудности. В качестве позитивных тенденций в Республике Беларусь стоит отметить обсуждение необходимости создания технического комитета по стандартизации в области ИИ на основе опыта других стран, а также вопроса о создании в республике института ИИ, одной из задач которого будет разработка и внедрение стандартов в данной области.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотова, Л. С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях : учебник / Л. С. Болотова. – М. : Финансы и статистика, 2023. – 666 с. – ISBN 978-5-00184-097-8.
2. Гаврилова, Т. А., Кудрявцев Д. В., Муромцев Д. И. Инженерия знаний. Модели и методы : Учебник. – СПб. : Издательство «Лань», 2016. – 324 с. : ил.
3. Осипов, Г. С. Методы искусственного интеллекта / Г. С. Осипов. – М. : Физматлит, 2011. – 296 с. : ил., схем., табл.
4. Колесников, А. В., Гибридные интеллектуальные системы: Теория и технология разработки, А. М. Яшин, ред. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001. – ISBN: 5-7422-0187-7
5. Яловец, А. Л. Представление и обработка знаний с точки зрения математического моделирования. Проблемы и решения. – Киев : Наукова Думка, 2011. – 339 с.
6. Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие для студ. уво по спец. «Информатика», «Прикладная информатика» / В. А. Головкин, В. В. Краснопрошин ; БГУ. – Мн. : БГУ, 2017. – 263 с. : ил.
7. Artificial Intelligence Standardization Is a Key Challenge for the Technologies of the Future / V. Golenkov [et. al.] // Open Semantic Technologies for Intelligent System : 10th International Conference OSTIS 2020, Minsk, February 19–22 2020 / Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics ; eds.: V. Golenkov [et. al.]. – Minsk, 2020. – P. 1–21. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-60447-9_1.
8. Methods and tools for ensuring compatibility of computer systems / V. Golenkov [et al.] // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2019) : материалы международной научно-технической конференции, Минск, 21 - 23 февраля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол. : В. В. Голенков (гл. ред.) [и др.]. – Мн. 2019. – С. 25–52.
9. Golenkov, V., Guliakina, N., Golovko, V., Krasnoproshin, V. (2022). On the Current State and Challenges of Artificial Intelligence. In: Golenkov, V., Krasnoproshin, V., Golovko, V., Shunkevich, D. (eds) Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. OSTIS 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1625. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15882-7_1.

10. Golenkov, V. The main directions, problems and prospects of the development of the next-generation intelligent computer systems and the corresponding technology = Основные направления, проблемы и перспективы развития интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и соответствующей им технологии / V. Golenkov, N. Gulyakina // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В. В. Голенков [и др.]. – Мн. – 2023. – Вып. 7. – С. 15–26.
11. Михневич, С. Ю. Эволюция понятия интероперабельности открытых информационных систем / С. Ю. Михневич, А. А. Тежар // Цифровая трансформация. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 60–66.
12. 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. – Мн. : Бестпринт. – 2021. – 690 с.
13. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Мн. : Бестпринт. – 2023. – 1064 с.
14. Zagorskiy, A. Principles for Implementing the Ecosystem of Next-Generation Intelligent Computer Systems / A. Zagorskiy // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2022): Collection of Scientific Papers. 2022. Iss. 6. P. 347–356. Minsk : Bestprint, 2022.
15. Концепция инфраструктуры стандартизации как базы знаний на основе онтологий / П. С. Серенков [и др.] // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2004. – № 5. – С. 25–29.
16. Taberko, V., Ivaniuk, D., Shunkevich, D., Pupena, O. (2020). Ontological Approach for Standards Development Within Industry 4.0. In: Golenkov, V., Krasnoproshin, V., Golovko, V., Azarov, E. (eds) Open Semantic Technologies for Intelligent System. OSTIS 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1282. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60447-9_5
17. Углев, В. А. Актуализация содержания стандартов проектирования сложных технических объектов: онтологический подход / В. А. Углев // Онтология проектирования. – 2012. – № 1. – С. 80–86.
18. Taberko, V. Adaptive control system for technological process within ostis ecosystem = Система адаптивного управления технологическим циклом производства в рамках Экосистемы OSTIS / V. Taberko [et al.] // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Мн. – 2023. – Вып. 7. – С. 291–298.
19. Shtepa, V. N. Applied Aspects of Using OSTIS Technology in Information Support of Digitalisation of Water Use Processes of Dairy Processing Enterprises = Прикладные аспекты использования технологии OSTIS при информационном обеспечении цифровизации процессов водопользования молокоперерабатывающих предприятий / V. N. Shtepa, E. N. Muslimov // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В. В. Голенков [и др.]. – Мн. – 2024. – Вып. 8. – С. 171–176.
20. Erofeev, A. Basic Principles of the Ontology of the Transportation Process in Railway Transport = Основы онтологии перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / A. Erofeev, I. Erofeev // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В. В. Голенков [и др.]. – Мн. – 2024. – Вып. 8. – С. 183–188.
21. Rostovtsev, V. Intelligent health monitoring systems = Интеллектуальные системы мониторинга здоровья / V. Rostovtsev // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В. В. Голенков [и др.]. – Мн. – 2023. – Вып. 7. – С. 237–240.

Поступила в редакцию 01.08.2024