

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.896

Зотов
Никита Владимирович

Модели и средства интерпретации семантических моделей
интеллектуальных систем на базе современных компьютеров

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра
по специальности 7-06-0611-03 – «Искусственный интеллект»

Научный руководитель
Голенков В.В.
доктор технических наук, профессор

Минск 2025

Краткое введение

Диссертационная работа посвящена разработке моделей и средств интерпретации семантических моделей систем на базе современных компьютеров. Актуальность темы обусловлена необходимостью перехода к автоматизации сложных видов человеческой деятельности, где требуется создание интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, способных к самостоятельной эволюции и эффективному взаимодействию для коллективного решения сложных задач.

Современные информационные технологии предъявляют высокие требования к семантической совместимости и интеграции интеллектуальных систем, что требует разработки новых подходов к моделированию и интерпретации информации. В этом контексте создание программной платформы, обеспечивающей унифицированное представление и обработку семантических моделей, является ключевой задачей для повышения качества и эффективности интеллектуальных систем.

Общая характеристика работы

Цель и задачи проводимых исследований

Целью диссертационной работы является разработка модели программной платформы для создания семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, которая позволит повысить качество таких систем, снизить затраты на их разработку, интеграцию и сопровождение.

Указанная цель определяет следующие задачи исследования:

- 1 Провести анализ существующих подходов к проектированию и разработке платформ для интеллектуальных систем.
- 2 Разработать формальную модель программной платформы, обеспечивающую унифицированное представление, интерпретацию и управление семантическими моделями интеллектуальных систем.
- 3 Реализовать прототип программной платформы, провести её апробацию, оценить эффективность предложенной платформы при решении задач интеграции и совместимости интеллектуальных систем.

Объектом исследования являются семантические модели интеллектуальных компьютерных систем нового поколения и процессы их интерпретации.

Предметом исследования являются модели, методы и программные средства, лежащие в основе платформ интерпретации и управления семантическими моделями интеллектуальных компьютерных систем.

Гипотеза исследования состоит в том, что создание модели программной платформы, основанной на унифицированном представлении и интерпретации семантических моделей, позволит существенно повысить качество и эффективность интеллектуальных компьютерных систем нового поколения, а также снизить затраты на их разработку и сопровождение.

Связь работы с приоритетными направлениями исследований и запросами реального сектора экономики

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства» согласно пункта 1 перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, утвержденных Указом Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы» от 07.05.2020 года № 156.

Диссертационное исследование выполнено на базе учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (кафедра интеллектуальных информационных технологий). Работа проводилась в ходе выполнения следующих научно-исследовательских программ и проектов:

- 1 Договор Х/Д № 23-1188 от 27.12.2023 г. «Анализ существующих подходов к разработке компонентов интеллектуальных систем нового поколения».
- 2 Грант Министерства образования Республики Беларусь ГБЦ № 24-3164М от 19.02.2024 г. «Модель программной платформы для разработки интеллектуальных компьютерных систем нового поколения».
- 3 Договор БРФФИ № Ф24МВ-011 от 15.04.2024 г. «Модели и средства автоматизации процессов обучения разработке искусственных нейронных сетей, совместимых с базами знаний, на базе открытых семантических технологий».

Результаты работы имеют прикладное значение для предприятий, занимающихся разработкой интеллектуальных систем, а также для образовательных учреждений, внедряющих современные методы искусственного интеллекта.

Личный вклад

Диссертационное исследование является квалификационной научной работой, выполненной соискателем самостоятельно. Автором проведён всесторонний анализ отечественной и зарубежной литературы, выполнено проектирование и реализация модели программной платформы, основанной на открытых семантических технологиях. Проведена экспериментальная апробация платформы, включая численные исследования и математическое моделирование ключевых компонентов.

Основные выводы, теоретические положения, методические разработки, программные решения и практические рекомендации принадлежат автору диссертации и составляют её научное содержание.

Опубликование результатов диссертации

По материалам выполненных исследований опубликовано 25 научных работ, в том числе 9 статей в рецензируемых изданиях, 4 главы монографии, 2 статьи в журналах, 2 статьи в сборниках материалов конференции, 8 тезисов докладов.

Апробирование результатов диссертации

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems) 2021-2025гг., международной конференции PRIP (Pattern Recognition and Information Processing) 2021г., конференции студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР 2021-2025гг., международной научной конференции «Информационные технологии и системы» (ITS) 2023г., республиканском конкурсе научных работ студентов 2024-2025гг.

Научные работы по теме магистерской диссертации были высоко оценены на XXX и XXXI Республиканских конкурсах научных работ студентов (2024г. и 2025г.). По итогам конкурсов соискателю было дважды присуждено звание лауреата.

Использование результатов диссертации подтверждено 2 актами внедрения в учебный процесс и 1 справкой об использовании результатов диссертационной работы в производстве.

Общий объем магистерской диссертации составляет 131 страница, включая 12 иллюстраций, 7 таблиц, 28 листингов, библиографический список из 120 наименований.

Текст диссертации проверен системой «Антиплагиат», доля заимствований соответствует норме, установленной кафедрой. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Списке используемых источников»

Краткое содержание работы

Общий объем магистерской диссертации составляет 131 страница, включая 12 иллюстраций, 7 таблиц, 28 листингов, библиографический список из 120 наименований.

Во введении диссертационной работы даётся обоснование актуальности темы исследования, формулируется научная проблема, цели и задачи работы, а также определяются объект и предмет исследования. Введение содержит описание методов исследования, формулируется рабочая гипотеза, подчёркивается научная новизна и личный вклад автора, а также раскрывается теоретическая и практическая значимость работы. Кроме того, во введении приводится информация об апробации результатов и публикациях по теме исследования, а также кратко описывается структура диссертации.

В первой главе проведён обзор и анализ современных методов и подходов к проектированию интеллектуальных систем и платформ для их разработки. Рассмотрены основные проблемы семантической совместимости и интеграции, а также существующие технологии и инструменты.

В второй главе сформулированы требования к программной платформе для создания семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. В частности, определены функциональные и нефункциональные требования.

В третьей главе разработана формальная модель программной платформы, обеспечивающая унифицированное представление, интерпретацию и управление семантическими моделями интеллектуальных систем. Представлены основные компоненты платформы, включая механизмы хранения и обработки информации, управления процессами и др.

Четвёртая глава посвящена реализации прототипа программной платформы на базе технологии OSTIS. Описаны архитектура, ключевые функциональные модули и особенности реализации. Проведена экспериментальная апробация платформы на тестовых примерах, включая численные исследо-

вания и математическое моделирование, подтверждающие эффективность и масштабируемость предложенного решения.

Работа завершается выводами, в которых подчёркнута научная новизна, практическая значимость и перспективы дальнейших исследований в области семантических технологий и интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем:

- 1 Проведен комплексный анализ современного состояния в области разработки интеллектуальных систем, который выявил фундаментальные проблемы: платформенную зависимость, фрагментацию методов проектирования, отсутствие универсальных инструментальных средств и ограничения традиционных вычислительных платформ. Показана причинно-следственная связь между многообразием языков программирования, отсутствием единой онтологии и усложнением интеграции, что приводит к росту затрат и снижению эффективности повторного использования компонентов.
- 2 Разработана формальная модель общей семантической памяти, включающая пять взаимосвязанных компонентов: хранилище графовых конструкций, хранилище внешних информационных конструкций, хранилище подписок на события, хранилище процессов и программный интерфейс. Модель обеспечивает унифицированное представление и обработку графовых конструкций в едином адресном пространстве с поддержкой масштабируемости, параллельной обработки данных и реактивности системы за счет событийно-ориентированной архитектуры.
- 3 Создана модель модуля создания агентов и управления ими в общей семантической памяти, интегрированная с базовой моделью общей семантической памяти. Модель включает хранилище спецификаций агентов, модули управления жизненным циклом, обработки событий и выполнения агентов, а также программный интерфейс для управления агентами. Это обеспечивает платформенно-независимое представление агентов, событийно-ориентированную архитектуру и поддержку параллельного выполнения агентных программ.
- 4 Реализована программная платформа ostis-систем, представляющая собой эмулятор поведения семантического компьютера на основе пяти ключевых принципов: единого представления знаний, событийно-ориентированной обработки, агентно-ориентированной архитектуры,

расширяемых программных интерфейсов и специализированных инструментов для работы с базами знаний.

- 5 Проведена экспериментальная оценка эффективности разработанной платформы, которая показала высокую производительность параллельного выполнения операций при больших объемах данных.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- 1 Создан работающий прототип программной платформы, обеспечивающий унифицированное представление знаний и семантическую совместимость между различными компонентами интеллектуальных систем.
- 2 Разработан программный интерфейс для создания агентов, поддерживающий три типа спецификаций (статические, динамические и полудинамические), что обеспечивает оптимальный баланс между производительностью и гибкостью разработки.
- 3 Обеспечена масштабируемость и переносимость решений благодаря платформенно-независимой архитектуре и возможности работы с различными реализациями платформы без потери функциональности.

Практическая значимость работы подтверждена 2 актами внедрения в учебный процесс и 1 справкой об использовании результатов диссертационной работы в производстве.

В ходе выполнения диссертационного исследования получены новые научные результаты, которые нашли отражение в 25 опубликованных научных работах, включая 9 статей в рецензируемых изданиях, 4 главы монографии, 2 статьи в журналах, 2 статьи в сборниках материалов международных и республиканских конференций, а также 8 тезисов докладов. Публикации охватывают ключевые аспекты разработки программной платформы для семантически совместимых интеллектуальных систем и подтверждают научную новизну и актуальность проведённого исследования.

Список опубликованных работ

1–А. Зотов Н. В., Орлов М. К. Средства описания зависимостей между процессами в семантической памяти / Н. В. Зотов, М. К. Орлов // Информационные технологии и управление : материалы 57-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов по направлению 2, Минск, 19-23 апреля 2021 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2021. – С. 17.

2–А. Principles of building a system for automating the activities of a process engineer based on an ontological approach within the framework of the Industry 4.0 concept / V. Taberko [et al.] // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2021) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2021. – Вып. 5. – С. 209–218.

3–А. Lutska N. et al. Ontological model of digital twin in manufacturing // International Conference on Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. – Cham : Springer International Publishing, 2021. – С. 310-335.

4–А. Zotov, N. Software platform for next-generation intelligent computer systems = Программная платформа для интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / N. Zotov // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2022) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2022. – Вып. 6. – С. 297–326.

5–А. Zotov N. Semantic theory of programs in next-generation intelligent computer systems = Семантическая теория программ в интеллектуальных компьютерных системах нового поколения / N. Zotov // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2022) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2022. – Вып. 6. – С. 145–160.

6–А. Зотов Н. В., Банцевич К. А. Принципы обеспечения версионности фрагментов баз знаний интеллектуальных систем / Н. В. Зотов, К. А. Банцевич // Информационные технологии и управление : материалы 58-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18–22 апреля 2022 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2022. – С. 69.

7–А. Zotov N. Design principles, structure, and development prospects of the software platform of ostis-systems = Принципы проектирования, структура

и перспективы развития программной платформы ostis-систем / N. Zotov // 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.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 67–76.

8–А. Zotov N. Implementation of Information Retrieval Subsystem in the Software Platform of ostis-systems = Реализация информационно-поисковой подсистемы в программной платформе ostis-систем / N. Zotov // 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.]. – Минск, 2023. – Вып. 7. – С. 77–94.

9–А. Самодумкин С. А., Зотов Н. В., Шункевич Д. В. и др. Язык вопросов для ostis-систем ostis-систем / С. А. Самодумкин, Н. В. Зотов, Д. В. Шункевич и др. // Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – Гл. 3.4. – 1064 с.

10–А. Зотов Н. В., Шункевич Д. В. Семантическая теория программ для ostis-систем / Н. В. Зотов, Д. В. Шункевич // Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – Гл. 3.2. – 1064 с.

11–А. Зотов Н. В., Шункевич Д. В. Программная платформа ostis-систем / Н. В. Зотов, Д. В. Шункевич // Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – Гл. 6.3. – 1064 с.

12–А. Зотов Н. В., Самодумкин С. А. Подсистема Экосистемы OSTIS, обеспечивающая поддержку жизненного цикла интеллектуальных геоинформационных систем различного назначения / Н. В. Зотов, С. А. Самодумкин // Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – Гл. 7.8. – 1064 с.

13–А. Ковалев М. В., Зотов Н. В. Модель версионирования нейросетевых методов решения задач, представленных в базе знаний / М. В. Ковалев, Н. В. Зотов // Science and innovation. – 2023. – Vol. 3, № 2. – С. 260–266.

14–А. Зотов Н. В. Принципы программирования в компьютерных системах нового поколения / Н. В. Зотов // Информационные технологии и управление : материалы 59-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17–21 апреля 2023 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2023. – С. 74.

15–А. Зотов Н. В. Принципы документирования программной платформы для интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / Н. В. Зотов // Информационные технологии и управление : материалы 59-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17–21 апреля 2023 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2023. – С. 73.

16–А. Зотов, Н.В. Модель управления процессами в общей семантической памяти интеллектуальных систем / Н. В. Зотов // Информационные технологии и системы 2023 (ИТС 2023) = Information Technologies and Systems 2023 (ITS 2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 22 ноября 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2023. – С. 53–54.

17–А. Зотов, Н.В. Количественные показатели эффективности операций над общей семантической памятью интеллектуальных систем / Н. В. Зотов // Информационные технологии и системы 2023 (ИТС 2023) = Information Technologies and Systems 2023 (ITS 2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 22 ноября 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2023. – С. 51–52.

18–А. Zotov N. A Formal Model of Shared Semantic Memory for Next-Generation Intelligent Systems = Формальная модель общей семантической памяти для интеллектуальных систем нового поколения / N. Zotov // 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.]. – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 63–78.

19–А. OSTIS Glossary — the Tool to Ensure Consistent and Compatible Activity for the Development of the New Generation Intelligent Systems = Глоссарий OSTIS — инструмент для обеспечения согласованной и совместимой деятельности по разработке интеллектуальных систем нового поколения /

N. Zotov [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.]. – Минск, 2024. – Вып. 8. – С. 127–148.

20–A. Zotov, N. V. An ontology-based approach as foundation for multidisciplinary synthesis in modern science / N. V. Zotov // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий : сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 745–747.

21–А. Зотов, Н. В. Переход от обработки данных к обработке знаний как ключевой этап в развитии технологий для разработки интеллектуальных систем нового поколения / Н. В. Зотов // 60-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» : материалы конференции, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. Р. Стемпицкий [и др.]. – Минск, 2024. – С. 24–26.

22–A. Zotov N. OSTIS Platform — a Framework for Developing Intelligent Agents Based on Semantic Networks = Платформа OSTIS – фреймворк для разработки интеллектуальных агентов на базе семантических сетей / N. Zotov // Лингвистическое обоснование создания лексического анализатора на семантической основе = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2025. – Вып. 9. – С. 113–134.

23–A. Principles of Automation of Development of Open Projects Based on the Ecosystem of Intelligent Computer Systems of the Next Generation = Принципы автоматизации разработки открытых проектов на основе экосистемы интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / N. Grakova, N. Zotov, M. Orlov [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.]. – Минск, 2025. – Вып. 9. – С. 147–172.

24–А. Зотов, Н. В., Орлов М. К. Проект OSTIS-AI — среда коллективной разработки Технологии OSTIS / Н. В. Зотов, М. К. Орлов // 61-я кон-

ференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» : материалы конференции, Минск, 21–25 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. Р. Стемпицкий [и др.]. – Минск, 2025.

25–А. Зотов, Н. В. Сравнительный анализ Платформы OSTIS и популярных фреймворков для разработки ИИ-агентов / Н. В. Зотов // 61-я конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» : материалы конференции, Минск, 21–25 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. Р. Стемпицкий [и др.]. – Минск, 2025.