

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.

Во 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 подчеркнута 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 проведенного 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–А. 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–А. 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–А. 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.