

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОУРОВНЕВОЙ
БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОИЯИ:
МАСШТАБИРУЕМАЯ АРХИТЕКТУРА В КОНТЕКСТЕ СУВЕРЕННОЙ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ**

***Ю.В. Трофимов^{1,2}, В.С. Семашко^{1,2}, М.М. Пашкова^{2,3},
Е.К. Кузьмина^{1,2}, Д.С. Беглов⁴, А.А. Петухов¹, А.Р. Кадырова¹***

¹Государственный университет «Дубна»

²Объединенный институт ядерных исследований

³Национальный исследовательский университет ИТМО

⁴Подмосковный политехнический колледж

В условиях стремительной цифровой трансформации и глобализации научно-технического прогресса особую значимость приобретает способность исследовательских организаций формировать и поддерживать собственные высокотехнологичные экосистемы, обеспечивающие полную независимость в области сбора, хранения и анализа данных. Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ), располагающийся в подмосковной Дубне, выступает одним из ведущих мировых центров

фундаментальных и прикладных исследований в сфере физики высоких энергий, ядерной физики, материаловедения и смежных дисциплин. В ответ на вызовы современности и в соответствии с принципами суверенизации информационных технологий, ОИЯИ активно развивает концепцию «Цифровой экосистемы (ЦЭС)», служащей универсальным цифровым пространством для обеспечения научно-технологической, административной и социальной деятельности института [1-2].

Важным элементом ЦЭС является Геоинформационная система (ГИС ОИЯИ), призванная интегрировать разнообразные источники пространственных данных, обеспечивать их аналитическую обработку и предоставлять удобную визуализацию в реальном времени [1, 3-6]. Однако создание эффективно работающей ГИС подразумевает не только реализацию программных решений по сбору и обработке геоданных, но и формирование комплекса знаний о сущностях, процессах и взаимосвязях в рамках единой цифровой среды. В этой связи становится крайне актуальной задача разработки БЗ способной аккумулировать и структурировать как технические сведения (инструменты разработки, библиотеки, протоколы интеграции), так и контекстуальную информацию (пространственные взаимосвязи объектов, научные данные, административные регламенты и т.д.). Такая база знаний должна стать фундаментом для дальнейшего развития сервисов поддержки принятия решений, а также способствовать ускоренному включению новых специалистов в сложившуюся экосистему института.

Основная часть. Первоначальным стимулом к созданию БЗ было потребность упорядочить технические материалы и методические руководства для новых сотрудников, вступающих в проект ГИС. Возникла необходимость разработать удобную среду, где в едином формате представлены технологии, используемые библиотеки и инфраструктурные модули, чтобы минимизировать порог вхождения в сложную цифровую экосистему. Однако в процессе развития проекта определилось понимание, что накопленные сведения не ограничиваются внутренними регламентами и технической документацией: всё больше на первый план выходит обработка пространственных данных, метрик эксплуатации помещений, потоков кадровой информации и результатов научной экспертизы. Это привело к осознанию, что БЗ должна масштабироваться на новые домены и интегрировать многообразие источников знаний, в том числе административного и научного характера.

В процессе системного анализа возникло чёткое разделение БЗ на две фундаментальные компоненты. Во-первых, это база знаний как технологическая платформа, гарантирующая надёжное хранение, быстрый доступ и широкие аналитические возможности. Во-вторых, это база знаний как когнитивное ядро для систем поддержки принятия решений (ИСППР).

1. На этом уровне БЗ рассматривается не как обыкновенное хранилище, а как многоуровневая среда, где аккумулируются исходные материалы (коды, чертежи, статьи, отчёты, описания экспериментов, презентации и т. д.) и метаданные к ним. Главная цель — обеспечить удобный доступ к разноплановым информационным ресурсам, соблюдая при этом принцип формализации по правилам базы знаний. Это предполагает использование онтологий, семантических аннотаций и специальных механизмов валидации, позволяющих унифицировать ключевые понятия и атрибуты across различных подразделений института. Такая платформа даёт возможность учёным, инженерам и администраторам оперативно получать структурированную информацию о новых исследованиях, тех или иных технических решениях, кадровых аспектах и инфраструктурных объектах. В отличие от классических баз данных, интеллектуальная БЗ нацелена на сквозную согласованность терминологии и формирование связных «гиперграфов» знаний, где любой ресурс (от научной статьи до кода аналитического модуля) описывается не только в терминах базовых метрик, но и через формальные отношения к другим элементам экосистемы. Таким образом, обеспечивается поддержка семантического поиска и гибкой многокритериальной фильтрации. BI – дашборды, интегрированные в платформу, позволяют визуализировать производственные и исследовательские метрики, а ролевое разграничение доступа и контроль версий способствуют информационной безопасности и удобству коллективной работы.

2. Параллельно с созданием технологической платформы БЗ развивается когнитивная компонента, призванная выполнять функции формализованного механизма, необходимого для логического вывода и построения онтологических моделей, применимых в системах поддержки принятия решений. Здесь знания рассматриваются не только как объекты хранения, но и как активные сущности, участвующие в формировании новых фактов, сценариев и гипотез. Семантические сети, описанные при помощи OWL-онтологий, дополняются правилами (rule-based logic) и методами дедуктивного вывода (reasoning), что открывает возможности для обнаружения скрытых взаимосвязей в пространственных, инфраструктурных и научных данных. Особое значение в данном контексте приобретают гетерогенные данные ГИС: сведения о зданиях, коммуникациях, персонале и научных установках описываются в терминах семантических классов и отношений. Это формирует базис для будущих алгоритмов машинного обучения, которые, опираясь на формализованные описания и накопленные метрики, смогут

выполнять прогнозирование, оценку рисков и мультифакторные сценарные расчёты. Потенциал подобной интеграции особенно высок в условиях междисциплинарных проектов, требующих аккуратного учёта и пространственных параметров, и специфики исследовательских процессов (например, планирование экспериментов, распределение ресурсов, оптимизация эксплуатационных характеристик оборудования).

На текущем этапе системной интеграции реализуется непрерывный процесс разработки и прототипирования с учётом микросервисной парадигмы и принципов DevSecOps, где каждая функциональная компонента (хранилище знаний, модули аналитики, подсистемы визуализации) развёртывается в среде контейнеризации (Docker/Kubernetes) и взаимодействует через стандартизированные API. При этом исходный код сервисов базируется на открытых фреймворках, прошедших аудит качества и лицензирования, что обеспечивает прозрачность технологического стека. Вместе с тем внутренняя экосистема ОИЯИ обладает статусом защищённого корпоративного окружения, ориентированного на суверенизацию информационных ресурсов, поэтому во всех слоях архитектуры внедряются механизмы соответствия закрытым регламентам цифровой безопасности.

С целью соблюдения требований к конфиденциальности и непрерывности процессов предусмотрены средства многоуровневого шифрования (TLS, клиентские сертификаты, эскалация прав), а также ролевое и атрибутивное управление доступом на основе политик Zero Trust. Важным элементом является оркестрация сертифицированных сервисов, при которой «горизонтальное» масштабирование микросервисов сочетается с политиками контроля межконтейнерных взаимодействий и мониторингом аномалий. Подход DevSecOps позволяет непрерывно интегрировать обновления в производственное окружение и одновременно выполнять автоматизированные тесты целостности, гарантируя, что репозитории онтологий и базы триплетных данных (RDF-сторы) остаются в консистентном состоянии.

В части управления жизненным циклом онтологической модели внедрён распределённый контроль версий (VCS), документирующий эволюцию классов, свойств и логических правил, а также позволяющий быстро откатываться к предшествующим ревизиям. Продвинутое механизмы аудита логов и трассировки событий в микросервисах способствуют своевременной идентификации уязвимостей и оперативному реагированию на потенциальные инциденты. Таким образом, даже при активной разработке и непрерывном расширении функционала платформа сохраняет устойчивость и отвечает жёстким требованиям информационной безопасности, заложенным в рамках цифровой экосистемы ОИЯИ.

Выводы. Разработка интеллектуальной Базы знаний (БЗ), инициированная в рамках работ над Геоинформационной системой (ГИС) ОИЯИ, показала важность формирования суверенной цифровой экосистемы, способной обеспечить целостное хранение и семантическую обработку многообразия данных научно-технического профиля. Проведённые проектные и экспериментальные исследования демонстрируют, что предлагаемый архитектурный подход — сочетание микросервисной парадигмы, онтологического дизайна и DevSecOps-принципов — создаёт предпосылки для дальнейшего углубления аналитического потенциала ГИС, а в перспективе и расширения функциональных возможностей на уровне всего института.

При этом БЗ пока находится в стадии активной разработки, и основная задача заключается в том, чтобы на её основе сформировать единый когнитивный контур, удовлетворяя запросам как исследователей, так и административных подразделений. Намечается, что такая интеграция станет фундаментом для будущих систем поддержки принятия решений (ИСППР) и более глубокой реализации инструментов машинного обучения. Таким образом, БЗ должна стать ключевым центральным элементом управления знаниями в пределах ГИС, а впоследствии может быть масштабирована на всю цифровую экосистему ОИЯИ.

В этой стратегии ОИЯИ не только следует общемировым трендам (глобализация открытых технологий, семантическая интероперабельность, интеллектуальный анализ данных), но и осознанно укрепляет суверенный статус собственных информационных ресурсов, учитывая возрастание рисков внешних ограничений и усложнение доступа к критически важным технологиям. Переход к онтологически обогащённой базе знаний в сопряжении с ГИС открывает перспективы более тонкого анализа инфраструктурных, административных и научных процессов, закладывая основу для будущих инноваций и обеспечивая устойчивость института в условиях глобальной конкуренции. Такой подход гарантирует, что стратегические государственные учреждения сохраняют полный цикл разработки и контроля над ключевыми цифровыми решениями, укрепляя лидерские позиции ОИЯИ в сфере высокотехнологичных проектов и масштабных междисциплинарных исследований.

Литература

1. Цифровая экосистема ОИЯИ запущена в тестовом режиме [Электронный ресурс] / Официальный сайт Объединённого института ядерных исследований. – Режим доступа: <https://www.jinr.ru/posts/tsifrovaya-ekosistema-oiyai-zapushhena-v-testovom-rezhime/> (дата обращения: 20.03.2025).
2. Кореньков В.В. Цифровая экосистема ОИЯИ: Семинар ЛФВЭ, 13 апреля 2023 года [Электронный ресурс] / Объединённый институт ядерных исследований. – Режим доступа: <https://indico.jinr.ru/event/3639/#2> (дата обращения: 20.03.2025).
3. Кузьмина, Е. К. Цифровая экосистема ОИЯИ. Бронирование конференц-залов для совещаний и рабочих мест прикомандированных сотрудников / Е. К. Кузьмина ; Государственный университет «Дубна». – Дубна : б.и., 2024. – 49 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=716421> (дата обращения: 21.03.2025). – Текст : электронный.
4. Пашкова, М. М. Цифровая экосистема ОИЯИ. Здания, помещения и размещение сотрудников / М. М. Пашкова ; Государственный университет «Дубна». – Дубна : б.и., 2024. – 52 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=716422> (дата обращения: 21.03.2025). – Текст : электронный.
5. Семашко В.С. Представления инженерных сетей на карте с размерными привязками и задачи согласования новых сетей [Электронный ресурс] / Цифровая экосистема ОИЯИ. – Конференц-зал (МЛИТ), 15 апр. 2024 г., 14:30 (15 мин). – Режим доступа: <https://indico.jinr.ru/event/4432/contributions/25982/> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.
6. Трофимов Ю.В., Кадырова А.Р., Петухов А.А., Семашко С.В. Разработка геоинформационной системы для цифровой экосистемы ОИЯИ [Доклад] // XXIX Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов : материалы конф. (г. Дубна, 22–26 апреля 2024 г.). – Дубна, 2024. – Дата доклада: 24 апреля 2024 г. – Тип доклада: Устный.