

УДК: 004.65:528.9

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ БД В ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ОИЯИ

Пашкова М. М.¹,

Научный руководитель – доцент, кандидат физико-математических наук Ромакина О. М.¹

¹ Университет ИТМО

miss.allowa@yandex.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №XV «Исследование возможностей применения мультимодельных БД в цифровую экосистему ОИЯИ».

Введение

Современные научные организации, такие как Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), сталкиваются с задачей интеграции разнородных данных в рамках единой цифровой экосистемы (ЦЭС). Для геоинформационной системы (ГИС) управления пространственными ресурсами, призванной обеспечить учет помещений, размещение сотрудников и внутреннюю навигацию, требуются решения, способные эффективно работать с пространственными, структурированными (сотрудники, отделы), полуструктурированными (метаданные помещений) и графовыми (навигационные маршруты) данными. Традиционные реляционные СУБД демонстрируют ограничения в гибкости схемы и производительности при работе с такими гетерогенными нагрузками [1]. В связи с этим актуальным является исследование потенциала мультимодельных баз данных [2]. Целью настоящей работы является проведение сравнительного исследования и научное обоснование выбора оптимальной мультимодельной архитектуры для создания ГИС в составе ЦЭС ОИЯИ.

Основная часть

Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе для проверки гипотезы был реализован прототип ГИС на базе нативной мультимодельной СУБД *ArangoDB*, которая поддерживает документную, графовую и ключ-значение модели [2]. Прототип включал *REST API* на *Flask*, клиентскую часть на *JavaScript* с библиотекой *Leaflet* [3] и базу данных, где помещения моделировались документами, а связи между ними — графом. Результаты подтвердили принципиальную жизнеспособность мультимодельного подхода для интеграции данных, однако выявили ряд фундаментальных ограничений *ArangoDB*: недостаточная функциональность для сложного геопространственного анализа (отсутствие *OGC*-совместимых функций, таких как *ST_Touches*, *ST_Intersection*, *ST_Buffer*), узость профессиональной экосистемы (отсутствие прямой интеграции с настольными ГИС, такими как *QGIS*) и высокие риски миграции с существующей реляционной инфраструктуры [1].

Второй этап был посвящен сравнительному анализу альтернативной архитектуры на базе объектно-реляционной СУБД *PostgreSQL*, функционал которой расширен до мультимодельного уровня с помощью отраслевых стандартов [4]. Документная модель реализуется через тип *JSONB*, пространственная — через расширение *PostGIS* (де-факто стандарт, предоставляющий сотни *OGC*-функций), графовые задачи навигации решаются с помощью *pgRouting*, а модель «ключ-значение» для быстро меняющихся статусов — через *JSONB* или расширение *hstore*.

Сравнительный анализ по ключевым критериям дал следующие результаты:

1. **Геопространственный анализ:** *PostGIS* обеспечивает качественное превосходство, позволяя выполнять критически важные для управления недвижимостью топологические операции и метрические вычисления, недоступные в *ArangoDB* [4].

2. **Целостность данных:** *PostgreSQL* гарантирует надежность на уровне ядра благодаря строгим *ACID*-транзакциям и механизму внешних ключей, что критически важно для корпоративной системы, в отличие от *NoSQL*-подхода *ArangoDB*, где ответственность за консистентность ложится на приложение [1].
3. **Экосистема и поддержка:** Экосистема *PostgreSQL* и *PostGIS* является одной из richest в мире. Нативная интеграция с профессиональным ПО (*QGIS*, *ArcGIS*) позволяет инженерам и аналитикам напрямую работать с данными, выполнять сложный анализ и редактирование, не привлекая разработчиков [4].

Выводы

В результате проведенного исследования научно обоснован выбор архитектуры на базе стека *PostgreSQL* + *PostGIS* + *JSONB* + *pgRouting* как оптимальной для построения ГИС в цифровой экосистеме ОИЯИ [5]. Доказано, что данный подход не только не уступает нативным мультимодельным СУБД, но и превосходит их по функциональности, надежности, зрелости экосистемы и, следовательно, стратегической перспективности [2]. Реализованный на данной архитектуре прототип системы обеспечивает интерактивную визуализацию планов зданий, управление атрибутами помещений (включая гибкие метаданные в *JSONB*), учет и размещение сотрудников, а также закладывает основу для построения навигационных маршрутов с помощью *pgRouting*. Практическая значимость работы заключается в создании масштабируемого и поддерживаемого решения, готового к дальнейшему развитию (внедрение алгоритмов бронирования, предиктивной аналитики и интеграция с другими сервисами ЦЭС ОИЯИ).

Литература

1. Джонсон Р. и др. Современные системы управления базами данных: проблемы и решения // Бюллетень проектирования баз данных *IEEE*. 2020 Vol. 43, no. 3 P. 15–29.
2. Мартинес-Базан Н. и др. Обзор мультимодельных СУБД // Обзоры вычислительной техники *АСМ*. 2021 Vol. 54, no. 2 P. 1–38.
3. *Canvas* – Интерфейсы веб *API* | *MDN* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/Canvas_API (дата обращения 27.04.2025).
4. Чжан В. и др. *PostGIS* и его применение в управлении пространственными данными // Журнал пространственных информационных наук. 2019 Vol. 12, no. 1 P. 45–67.
5. Мегапроект *NICA* [Электронный ресурс] / Лаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина; Объединенный институт ядерных исследований. – Режим доступа: <https://nica.jinr.ru/ru/> (дата обращения 30.05.2025).