

Научная статья

УДК 004

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.3>

МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ С ОБЕЗЛИЧЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ ДАННЫХ

Даниил Маврин*, Ирина Брусакова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), daniil.mavrin02@gmail.com, brusakovai@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку: daniil.mavrin02@gmail.com

Аннотация

Развитие цифровых технологий в здравоохранении сопровождается ростом объема медицинских данных и повышением требований к их защите. В условиях фрагментации информационных систем и нормативных ограничений на обработку персональной информации сохраняется потребность в архитектурах, обеспечивающих аналитическую обработку без доступа к идентифицируемым данным. Цель исследования заключается в разработке и обосновании концептуальной архитектуры аналитической платформы для учреждений здравоохранения, обеспечивающей нормативное соответствие, модульную интеграцию с действующими медицинскими информационными системами, поддержку локального и облачного развертывания, применение машинного обучения для предиктивной аналитики и визуализацию ключевых управлеченческих показателей. Объектом исследования выступили процессы управления медицинскими учреждениями на основе анализа обезличенных данных. Методологический подход включал системный анализ, архитектурное моделирование и разработку визуальных схем, описывающих структуру, взаимодействие и бизнес-модель платформы. В результате сформирована архитектура, включающая два варианта развертывания (облачный и локальный), модули интеграции и визуализации, а также механизмы безопасного обмена данными. Разработаны архитектурные схемы и BPMN-схемы, иллюстрирующие организацию компонентов и финансовую модель. Выводы подтверждают применимость предложенного подхода для цифровой трансформации медицинских учреждений с учетом нормативных и инфраструктурных ограничений. Исследование создает основу для последующего прототипирования и внедрения в пилотных проектах.

Ключевые слова: аналитическая платформа; модульная архитектура; цифровое здравоохранение; обезличенные данные; предиктивная аналитика; информационная безопасность.

Цитирование: Маврин, Д., Брусакова, И., 2025. Модульная Архитектура Аналитической Платформы Здравоохранения с Обезличенной Обработкой Данных. Sustainable Development and Engineering Economics 2, 3. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.3>

Эта работа распространяется под лицензией [CC BY-NC 4.0](#)

© Маврин, Д., Брусакова, И., 2025. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Research Article

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.3>

MODULAR ARCHITECTURE OF A HEALTHCARE ANALYTICS PLATFORM WITH DE-IDENTIFIED DATA PROCESSING

Daniil Mavrin*, Irina Brusakova

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", daniil.mavrin02@gmail.com, brusakovai@mail.ru

*Corresponding author: daniil.mavrin02@gmail.com

Abstract

The digitalization of healthcare has led to a rapid increase in data volume alongside growing demands for privacy and regulatory compliance. In this context, many healthcare organizations face difficulties integrating fragmented information systems while maintaining full control over sensitive data. This paper proposes a conceptual framework for a modular analytics platform designed to support predictive decision-making in medical institutions without direct access to identifiable patient information. The study focuses on the digital transformation of healthcare management processes using de-identified institutional data. The methodology combines systems analysis with architectural modeling, resulting in a set of structured diagrams that describe the platform's deployment logic, component interaction, and business model. The proposed architecture supports both cloud-based and on-premises deployment options, allowing institutions to choose between flexibility and full data sovereignty. The platform includes modules for integration and visualization, along with secure API-based data exchange mechanisms. Architectural and BPMN diagrams are presented to illustrate the platform structure and subscription-based financial model. The results demonstrate the feasibility of implementing the proposed architecture in healthcare environments constrained by legal, technical, and organizational factors. The concept provides a foundation for future prototyping and pilot deployment in healthcare systems aiming to achieve secure, scalable analytics.

Keywords: analytics platform; modular architecture; digital healthcare; de-identified data; predictive analytics; information security.

Citation: Mavrin, D., Brusakova, I., 2025. Modular Architecture of a Healthcare Analytics Platform with De-identified Data Processing. Sustainable Development and Engineering Economics 2, 3. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.2.3>

This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](#)

© Mavrin, D., Brusakova, I., 2025. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

1. Введение

Объектом настоящего исследования являются процессы управления деятельностью медицинских учреждений на основе интеллектуального анализа данных и применения моделей машинного обучения. Эти процессы охватывают широкий спектр задач — от организации потоков пациентов и планирования ресурсов до стратегического управления на уровне региональных и федеральных систем здравоохранения. Современные медицинские информационные системы (МИС), включая единую государственную информационную систему в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ), аккумулируют значительные объемы гетерогенной информации: электронные медицинские карты, расписания приема, диагностические результаты, логи посещений и др. (Batko, Slezak, 2022). Однако, несмотря на цифровизацию, большая часть этих данных остается неинтегрированной и не используется для полноценной аналитики.

Актуальность работы обусловлена одновременно как объективной потребностью в оптимизации работы учреждений здравоохранения, так и текущими нормативными, технологическими и организационными ограничениями. Международные стратегии цифрового здравоохранения, такие как WHO Global Strategy on Digital Health 2020–2025 (Awrahman et al., 2022), и государственные программы России («Цифровая экономика», приказ Минздрава РФ № 1238н от 30.12.2020) декларируют необходимость создания систем поддержки принятия решений, основанных на данных. Вместе с тем, отечественная нормативная база, в частности Федеральный закон № 152-ФЗ «О персональных данных», ограничивает использование централизованных решений и требует внедрения подходов, обеспечивающих локальную и обезличенную обработку медицинской информации.

Научная проблема, лежащая в основе исследования, заключается в отсутствии архитектурных решений, способных одновременно: (1) учитывать гетерогенность и фрагментированность данных; (2) обеспечивать соответствие нормативным требованиям по защите персональных данных; (3) предлагать предиктивные инструменты аналитики, применимые в реальных условиях российских медицинских учреждений. Предиктивная аналитика в данном контексте понимается как применение методов машинного обучения и статистического моделирования для выявления скрытых закономерностей в массивах медицинских данных и прогнозирования вероятности наступления тех или иных событий. Основная бизнес-потребность внедрения таких инструментов заключается в повышении эффективности управления медицинскими учреждениями: предиктивные модели позволяют прогнозировать загрузку коечного фонда, потребность в лекарственных средствах, кадровые дефициты и риски осложнений у пациентов, что обеспечивает более рациональное распределение ресурсов и повышение качества медицинской помощи.

Как отмечается в работах Badawy (Badawy et al. 2024) и Borges (Borges et al. 2021), глобальной проблемой остается отсутствие унифицированных аналитических пайплайнов (последовательности автоматизированных процедур сбора, очистки, обработки и интерпретации данных) и надежных механизмов интеграции источников, что особенно остро проявляется в медицинском секторе. Аналогичные выводы содержатся в российских исследованиях: Морозова Ю.А. (Морозова Ю.А., 2020) подчеркивает слабую совместимость локальных МИС, а Карцхия А.А. (Карцхия А.А., 2023) — недостаточную регламентацию обмена данными в рамках ЕГИСЗ.

Предыдущие исследования в области цифровизации здравоохранения охватывают отдельные аспекты — применение ИИ, визуализацию данных, архитектуру обмена медицинской информацией (Vest, 2010; Jayathissa et al., 2023), а также методы обеспечения конфиденциальности, включая дифференциальную приватность и федеративное обучение (Dwork, Roth, 2014; Kaassis, 2020). Однако, как показывают обзоры Saberi (Saberi et al., 2025) и Nisevic (Nisevic et al., 2025), эти решения, как правило, не адаптированы к реалиям стран с ограниченными ресурсами и жесткими регуляторными барьерами, таких как Россия. Существующий научный ландшафт не предлагает готовых платформенных решений, объединяющих все указанные аспекты в единую, практико-ориентированную архитектуру, пригодную для масштабирования в медицинских учреждениях РФ.

Ключевая идея исследования заключается в создании интеллектуальной аналитической платформы, ориентированной на условия российской правовой среды и технологической инфраструктуры. В отличие от зарубежных решений, платформа спроектирована с учетом необходимости локальной обработки и обезличивания данных, не требует глубокой модификации существующих МИС и обеспечивает гибкое масштабирование. Ее архитектура основана на модульном принципе: предиктивная аналитика, визуализация, API-интеграция, безопасность. Каждая составляющая может быть адаптирована под особенности учреждения, а их взаимодействие позволяет выстраивать сквозные сценарии аналитики без нарушения законодательства.

Целью исследования является разработка и обоснование концептуальной архитектуры аналитической платформы для учреждений здравоохранения, обеспечивающей:

- соответствие нормативным требованиям по защите персональных данных;
- модульную интеграцию с действующими МИС;
- поддержку локального и облачного развертывания;
- применение машинного обучения для предиктивной аналитики;
- визуализацию ключевых управлеченческих показателей.

2. Обзор литературы

В последние десятилетия аналитика данных становится важным инструментом трансформации здравоохранения, предоставляя новые подходы к управлению потоками пациентов, логистикой, кадровыми ресурсами и качеством медицинской помощи. Как подчеркивают Raghupathi A. и Raghupathi W. (Raghupathi et al., 2014), здравоохранение является одним из крупнейших источников и потребителей больших данных, а потенциал использования аналитики для повышения эффективности и снижения затрат признан на международном уровне. Тем не менее, применение методов интеллектуального анализа в медицинской практике со-пряжено с рядом ограничений — правовых, технических и инфраструктурных.

Одним из наиболее активно исследуемых направлений является применение предиктивных моделей для оптимизации расписаний и снижения времени ожидания. В работе Liu et al. (Liu et al., 2021) описана система XIAO YI, реализованная в китайских клиниках, которая сократила медианное время ожидания с 1,97 до 0,38 часов. Аналогично, Morales et al. (Morales et al., 2022) предложили гибридную модель симуляции и оптимизации, позволившую в условиях ограниченных ресурсов выравнивать нагрузку на персонал. Согласно систематическому обзору Vecillas et al. (Vecillas et al., 2025), методы дискретно-событийного моделирования (DES) обеспечили сокращение времени ожидания на 15–30 % в 22 амбулаторных учреждениях.

Тем не менее, несмотря на высокую эффективность точечных решений, существует обоснованная критика их ограниченной масштабируемости. В обзоре Saberi et al. (Saberi et al., 2025) показано, что большинство инициатив по обмену медицинской информацией реализуются на уровне отдельных учреждений без создания архитектуры, пригодной для межведомственного взаимодействия. Подобные проблемы описаны Jayathissa et al. (Jayathissa et al., 2023) применительно к странам с ограниченными ресурсами, где инфраструктурные и нормативные барьеры препятствуют стандартизации обмена медицинскими данными даже при наличии формальных стандартов HL7 или FHIR.

Вопросы межведомственного взаимодействия и стандартизации информационных потоков давно находятся в центре внимания зарубежных и отечественных исследователей. Так, концепция Health Information Exchange (HIE), изложенная в работе Vest и Kash (Vest et al., 2010), предлагает архитектурные принципы построения систем обмена данными между учреждениями здравоохранения, страховыми фондами и государственными органами. Однако авторы подчеркивают, что даже в условиях развитой цифровой инфраструктуры сохраняются проблемы совместимости стандартов и неопределенности правового регулирования.

Российские исследования подтверждают аналогичные выводы. Гогина О.А. (Гогина О.А., 2017) указывает на отсутствие полноценных механизмов совместимости между различными МИС, что делает невозможным сквозной анализ. Журавлев М.С. (Журавлев М.С., 2021) акцентирует внимание на недостаточной нормативной проработке механизмов межведомственного обмена в рамках ЕГИСЗ. Более того, как отмечает Отставнова Е.А. (Отставнова Е.А., 2023), цифровизация здравоохранения в России развивается фрагментарно, и до сих пор отсутствует единый подход к архитектуре медицинских ИС, особенно в части разграничения прав доступа и правового регулирования конфиденциальности.

Ключевым вызовом при внедрении аналитических систем в медицине остается обеспечение конфиденциальности и правовой защиты персональных данных. Теоретические основы этого направления заложены в работах Dwork и Roth (Dwork et al. 2014), предложивших концепцию дифференциальной приватности. Альтернативные модели, включая федеративное обучение, исследованы Kaassis et al. (Kaassis et al., 2020), где подчеркивается возможность обучения ИИ без передачи исходных данных. Однако, как указывает Nisevic et al. (Nisevic et al., 2025), даже синтетические данные не исключают юридических и этических рисков, требующих детальной правовой регламентации.

Современные тенденции в регулировании обработки персональных данных в России и за рубежом свидетельствуют о возрастающей сложности нормативных требований, предъявляемых к разработке и эксплуатации аналитических систем в здравоохранении. Как показывает анализ последних изменений в российском законодательстве, представленный Ковалевым (Ковалев С.Д., 2024), усиливается контроль за операторами данных: вводятся обязательства по уведомлению Роскомнадзора, ужесточаются требования к уничтожению персональной информации, ограничивается использование биометрических данных вне государственных платформ и увеличиваются санкции за нарушения. Эти меры требуют от архитектурных решений не только формального соответствия, но и способности оперативно адаптироваться к обновляемым нормативным требованиям. На фоне этих процессов особенно значимым становится международный сравнительный контекст, рассмотренный в работе Гиш, Ржевской и Медведевой (Гиш et al., 2023). Исследование показывает, что в отличие от европейского подхода, ориентированного на защиту прав субъектов данных (GDPR), российская

модель акцентирует внимание на локализации и государственном контроле, тогда как в США отсутствует единая нормативная база. Таким образом, эффективность цифровых решений в здравоохранении во многом определяется их способностью учитывать юрисдикционные особенности и встроенность в правовую инфраструктуру конкретной страны.

Дополнительный аспект, редко рассматриваемый в технической литературе, касается общественного отношения к использованию медицинских данных в научных целях. Как показало эмпирическое исследование Richter et al. (Richter et al., 2021), большинство пациентов в Германии поддерживают идею предоставления обезличенных данных для исследований по модели «*data donation*» с возможностью простого отказа (*opt-out*), при условии соблюдения законодательных гарантий и недопущения передачи данных коммерческим структурам без контроля. Это подчеркивает важность не только технологических, но и нормативно-этических механизмов обеспечения доверия в построении аналитических платформ.

Сравнительный анализ международных и отечественных публикаций выявляет существенный разрыв между декларацией стратегий цифровизации и фактической реализацией. Несмотря на наличие множества частных решений, не существует унифицированных архитектур, позволяющих совмещать аналитическую обработку, визуализацию, защищенную интеграцию и нормативное соответствие в единой платформе. Это особенно актуально для России, где закон № 152-ФЗ ограничивает использование централизованных решений и требует локальной, обезличенной аналитики. Как подчеркивается в аналитических докладах Минздрава РФ, необходимо создавать условия для использования отечественного ПО, минимизируя риски утечек и внешнего доступа. Дополнительную значимость приобретает курс на технологический суверенитет и импортозамещение, закрепленный в национальных стратегиях цифровой трансформации: развитие отечественных цифровых решений становится не только технической, но и государственной задачей. В условиях внешнеэкономических ограничений и санкционного давления устойчивость здравоохранения напрямую зависит от способности развивать независимую цифровую инфраструктуру.

Кроме того, анализ архитектурных и организационных решений показывает, что большинство описанных в литературе систем не адаптированы к условиям отсутствия прямого доступа к персонализированным данным, что делает их непригодными для реализации в РФ без значительной переработки. Так, в работе Borges et al. (Borges et al., 2021) и обзоре Badawy et al. (Badawy et al., 2024) показано, что существующие платформы требуют полной централизации данных и не предлагают безопасных моделей локального анализа.

Таким образом, в существующей научной литературе отсутствуют универсальные решения, которые бы одновременно:

- поддерживали модульную и масштабируемую архитектуру;
- обеспечивали обработку данных в обезличенном виде в соответствии с российским законодательством;
- использовали отечественные технологии (включая LLM и API-интеграцию);
- интегрировались с уже существующими МИС без их модификации;
- предоставляли инструменты визуализации и поддержки принятия решений в медицинских учреждениях.

На этом фоне научная новизна настоящей работы заключается в разработке единой архитектурной модели, ориентированной на российский контекст, учитывающей как

технические, так и правовые особенности, и восполняющей очевидный пробел в существующих публикациях. Предлагаемое решение сочетает интеллектуальную обработку медицинских данных, соблюдение регламентов безопасности, совместимость с действующими системами и удобные интерфейсы визуализации. Подобный подход открывает путь к построению децентрализованных, но интегрированных систем здравоохранения, адаптированных к реалиям Российской Федерации.

3. Материалы и методы

Настоящее исследование носит концептуальный характер и направлено на разработку универсального подхода к оптимизации работы медицинских учреждений посредством интеллектуального анализа данных и применения методов машинного обучения. Целью работы, как уже было установлено во введении, является формирование воспроизводимой архитектурной модели, способной интегрироваться с существующими медицинскими информационными системами, обеспечивать межведомственную интеграцию медучреждений и иных учреждений государственной важности, локальную предиктивную аналитику, защищенный обмен обезличенными данными и соответствие требованиям российского законодательства.

Объектом исследования выступают процессы управления и цифровой трансформации деятельности медицинских организаций в Российской Федерации, основанные на анализе разнородных информационных массивов: электронных медицинских карт, журналов посещаемости, расписаний приема, статистики заболеваемости и других данных, которые в большинстве случаев хранятся в неструктурированном виде внутри локальных МИС. Наличие фрагментированных источников, отсутствие единого формата обмена и сложность согласования данных между уровнями системы здравоохранения обуславливают необходимость создания архитектуры, которая допускает как частичную автономность, так и модульную интеграцию компонентов.

Методологической основой исследования послужили принципы системного анализа, проектирования модульных архитектур и инжиниринга данных в условиях нормативных ограничений. Исходя из этого, исследование включало несколько этапов, выстроенных в логике последовательной формализации требований, архитектурного проектирования и технической верификации.

На первом этапе был выполнен аналитический обзор научной и прикладной литературы, а также нормативных документов, отражающих современные требования к цифровым решениям в здравоохранении. На основании анализа были выявлены ключевые ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании архитектуры: (1) невозможность универсального применения централизованных облачных платформ, поскольку часть учреждений — особенно ведомственные структуры — не допускают передачу данных вне внутреннего периметра и требуют полного локального контроля; (2) отсутствие адаптированных решений, способных интегрироваться с существующими медицинскими информационными системами без их модификации; (3) потребность в таких инструментах аналитики, которые способны функционировать без доступа к идентифицируемым персональным данным, в условиях строгих регламентов по безопасности и конфиденциальности.

Следующий этап включал формализацию функциональных и технических требований к будущей платформе. В качестве базовых принципов были заложены: (1) модульность архитектуры с возможностью адаптации под конкретное учреждение; (2) интеграция с

существующими системами через API и стандарты HL7/FHIR; (3) обеспечение юридически корректной обезличенной обработки информации; (4) приоритет использования отечественных программных решений — таких как Yandex GPT, GigaChat и совместимые инструменты визуализации.

На основе сформулированных требований была разработана концептуальная архитектура платформы. Ее структура включает в себя три ключевых компонента: модуль предиктивной аналитики, предназначенный для прогнозирования нагрузки и оценки рисков; модуль визуализации, ориентированный на построение дашбордов, графиков и интерактивных карт для руководства ЛПУ; а также модуль взаимодействия с внешними системами, обеспечивающий защищенный обмен данными и синхронизацию с государственными ИС. Особенностью архитектуры является ее двухуровневое развертывание: облачное (SaaS), ориентированное на учреждения с невысокими требованиями к безопасности, и локальное (in-house), предназначенное для организаций, где критична защита данных. В каждом случае предусмотрены механизмы фильтрации, маскировки и шифрования информации, исключающие возможность обратной идентификации пациента.

Применение машинного обучения в рамках предлагаемой аналитической платформы включает использование таких инструментов, как методы классификации (для выявления групп риска среди пациентов), регрессии (для прогнозирования длительности госпитализации и потребности в ресурсах), кластеризации (для сегментации потоков пациентов и выявления скрытых закономерностей в обращаемости), а также ансамблевых моделей и нейронных сетей (для повышения точности прогнозов). В сфере здравоохранения данные инструменты позволяют решать задачи прогнозирования загрузки коечного фонда, планирования кадровых ресурсов, оценки вероятности осложнений у конкретных пациентов, выявления неэффективных маршрутов оказания помощи и оптимизации закупок лекарственных препаратов. Бизнес-потребность их внедрения заключается в повышении управляемости медицинских учреждений, снижении издержек, сокращении времени ожидания помощи и повышении качества медицинских услуг за счет опоры на данные и объективные прогнозные оценки.

На заключительном этапе исследования была произведена визуализация ключевых аспектов архитектуры и бизнес-модели предлагаемой платформы. Были разработаны графические схемы, дополняющие описание концептуального решения и иллюстрирующие его техническую и организационную реализацию. В частности, подготовлены: (1) архитектурная схема облачного развертывания платформы (SaaS-модель), демонстрирующая структуру взаимодействия между пользователями и серверной частью системы; (2) архитектурная схема локального (in-house) развертывания, отражающая особенности изолированного исполнения и локального контроля над данными; (3) схема взаимодействия компонентов системы при межведомственном обмене через API-интерфейсы; (4) BPMN-схема, описывающая процесс подписной оплаты и форматы взаимодействия пользователей с разработчиком при доступе к вычислительным ресурсам. Эти материалы будут представлены и прокомментированы в разделе «Результаты» для более наглядного раскрытия предложенного решения.

Таким образом, разработанная методология демонстрирует последовательный воспроизведимый подход к проектированию аналитической платформы, адаптированной под российскую нормативную среду и технические реалии. Предложенное решение может быть реализовано другими исследователями, ИТ-специалистами или учреждениями здравоохранения в рамках пилотных или отраслевых проектов цифровой трансформации.

4. Результаты

В ходе проведенного исследования была разработана концептуальная архитектура аналитической платформы, предназначеннной для поддержки управленческих решений в медицинских учреждениях за счет интеллектуального анализа обезличенных данных, интеграции с существующими информационными системами и визуализации ключевых показателей. Полученные результаты представляют собой взаимосвязанную систему технических и организационных решений, объединенных в модульную структуру, способную адаптироваться под различные условия эксплуатации.

Архитектурная модель: SaaS и in-house

Разработанная архитектура платформы включает два взаимодополняющих варианта развертывания — облачный (SaaS) и локальный (in-house), каждый из которых ориентирован на определенный тип медицинской организации и уровень требований к информационной безопасности.

Облачная модель (SaaS) реализуется как сервис, размещенный на инфраструктуре поставщика, к которому пользователи получают доступ через защищенный веб-интерфейс. Основные преимущества модели включают: (1) отсутствие необходимости в собственной ИТ-инфраструктуре на стороне клиента; (2) минимальные затраты на внедрение; (3) возможность быстрого масштабирования системы при росте объема данных; (4) автоматическое обновление компонентов. Эта модель оптимальна для учреждений, не имеющих строгих регламентов по локализации данных и ориентированных на оперативное использование аналитических инструментов без значительных капиталовложений.

Архитектура облачной модели (SaaS) представлена на рис.1.

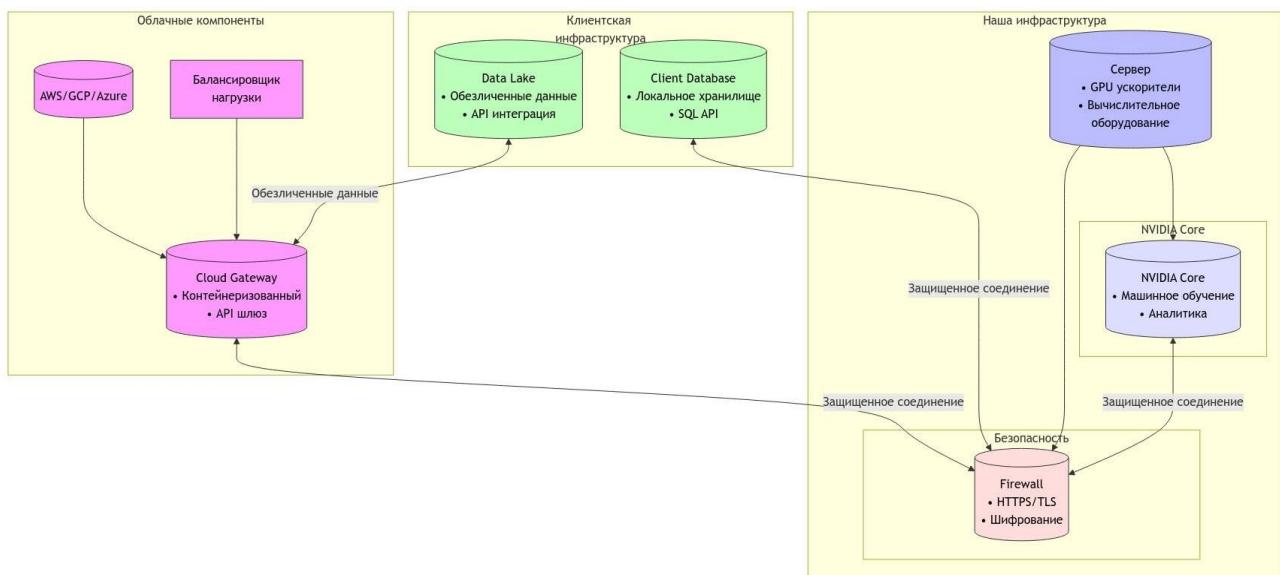


Рисунок 1. SaaS (облачное) решение

Локальная модель (in-house), напротив, предполагает полное размещение всех компонентов платформы на серверах медицинского учреждения. Такой подход обеспечивает максимальный уровень контроля над данными и соответствует требованиям учреждений с особыми мерами защиты информации, включая ведомственные клиники, оборонные и закрытые структуры. Особенности in-house модели: (1) единоразовая закупка программного пакета и оборудования; (2) настройка внутреннего доступа без выхода за периметр учреждения; (3)

техническая поддержка и обновления по подписке. Такой формат позволяет достичь полной автономности при сохранении совместимости с другими участниками системы.

Архитектура локального решения (in-house) представлена на рис.2.

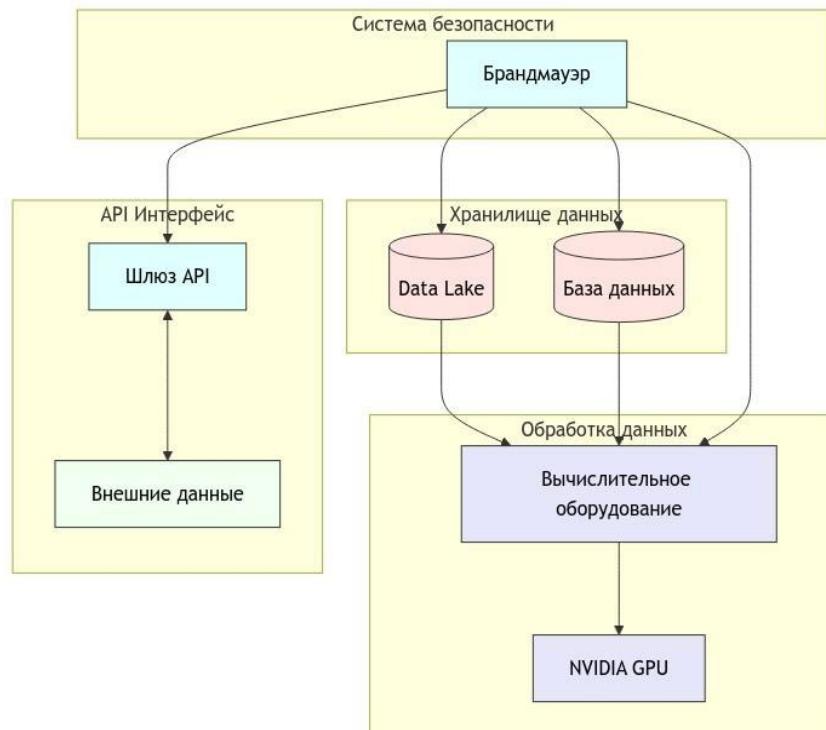


Рисунок 2. Локальное решение

Взаимодействие между компонентами

Ключевой особенностью платформы является возможность безопасного взаимодействия между учреждениями, использующими разные модели развертывания. Через API-коннекторы осуществляется защищенный обмен обезличенными данными, что позволяет, с одной стороны, интегрировать локальные вычисления с облачными модулями аналитики и визуализации, а с другой — формировать единое пространство обмена данными между учреждениями разного профиля.

Модель предполагает, что участники с повышенными требованиями к безопасности подключаются к системе через интерфейсы, полностью исключающие передачу необезличенной информации. Таким образом, достигается гибкий баланс между автономностью и межведомственным взаимодействием. Модель взаимодействия обеих систем представлена на рис.3.

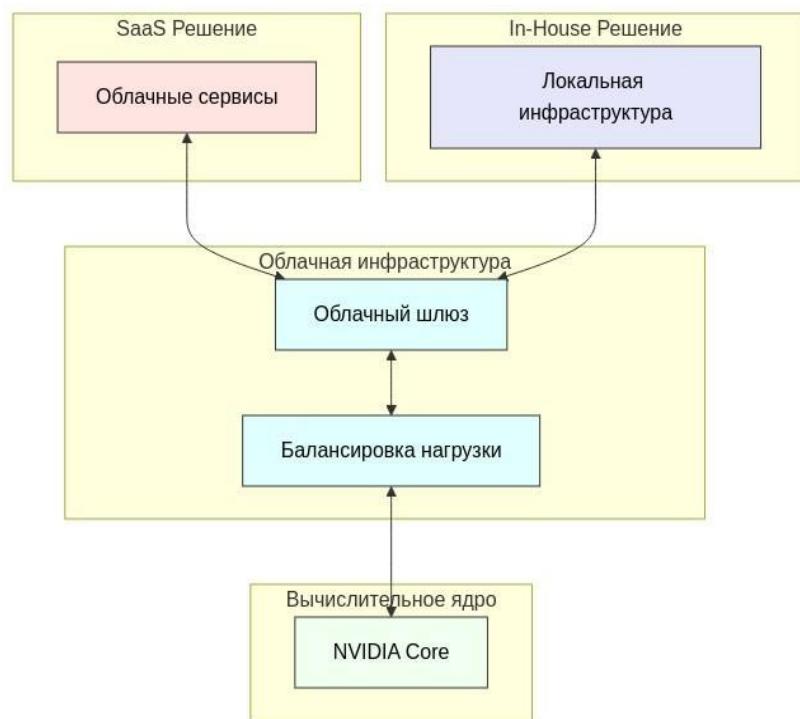


Рисунок 3. Модель взаимодействия систем через API

Финансовая модель и цикл подписки

Важным результатом исследования стало проектирование прозрачной и устойчивой финансовой модели, позволяющей масштабировать платформу без дополнительных организационных затрат со стороны медицинских учреждений. Для этого была разработана BPMN-схема, отражающая цикл оплаты и обслуживания программного обеспечения. В случае облачного решения учреждение ежемесячно оплачивает подписку с доступом к аналитическим инструментам и вычислительным мощностям. В локальной модели оплата делится на начальный лицензионный пакет и последующую техническую поддержку.

Цикл оплаты подписки отображен на BPMN-схеме. Для удобства просмотра она разделена на две части (рис.4 и рис.5).

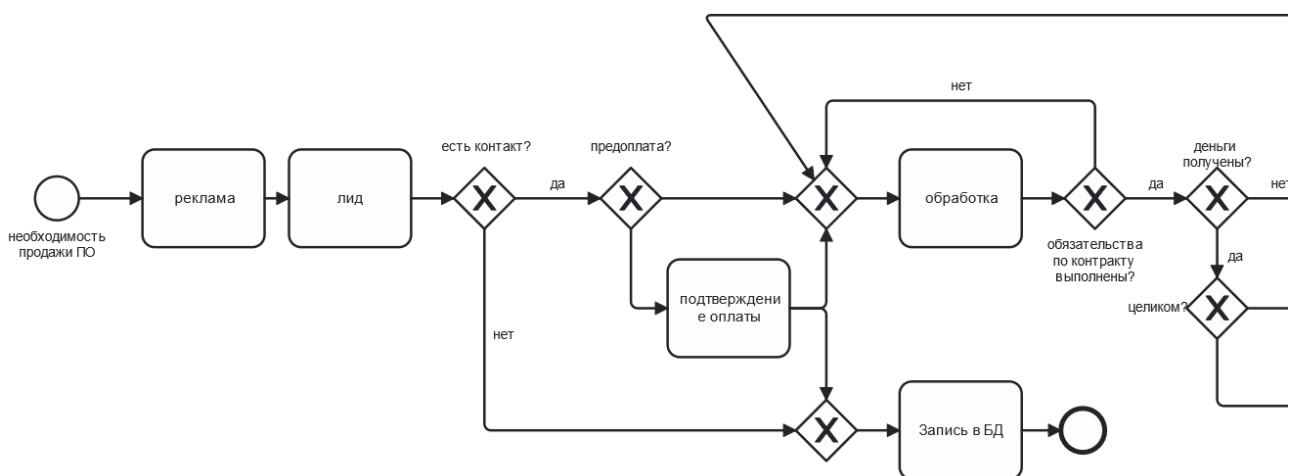


Рисунок 4. BPMN схема оплаты подписки (часть 1)

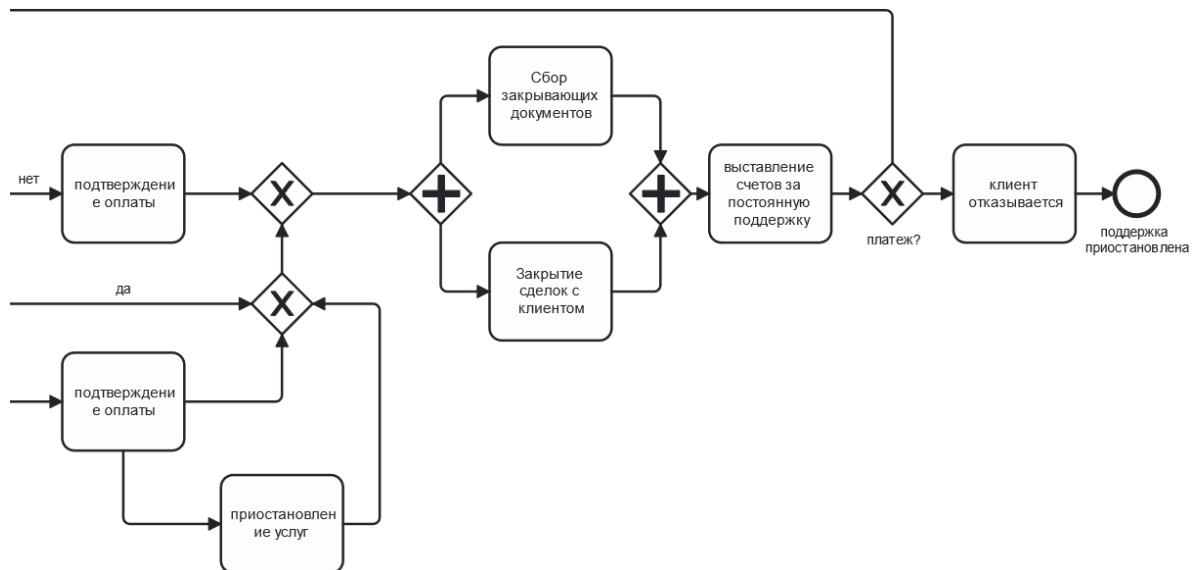


Рисунок 5. BPMN схема оплаты подписки (часть 2)

Диаграмма отражает полный цикл подписки на аналитическую платформу — от формирования запроса до сопровождения клиента.

1. Реклама и лид. Формирование потока потенциальных клиентов. В медучреждениях соответствует информированию о новых цифровых сервисах.
2. Проверка контакта. Верификация данных и подтверждение официального канала взаимодействия (ИНН, ОГРН).
3. Предоплата и подтверждение оплаты. Юридическая фиксация финансовых обязательств. В здравоохранении возможны варианты: предоплата, казначейское сопровождение или этапные платежи.
4. Обработка и запись в БД. При отсутствии оплаты — повторное согласование; при подтверждении — регистрация договора в учетных системах.
5. Контроль исполнения обязательств. Проверка соответствия оказанных услуг условиям контракта (важно для SLA и госконтрактов).
6. Приостановка услуг. Используется при просрочке оплаты; в медучреждениях требует гибкой адаптации, чтобы не нарушать оказание помощи.
7. Закрывающие документы. Акт и счет-фактура обязательны по регламентам бухгалтерии.
8. Закрытие сделки и поддержка. Завершение договора и переход к сервисному сопровождению (обновления, консультации).
9. Отказ клиента. Фиксация прекращения подписки, например, после окончания срока госзакупки.

Каждый шаг схемы адаптирован с учетом особенностей функционирования государственных и частных медучреждений. В отличие от коммерческого сектора, здесь важна обязательность: (1) многоступенчатого согласования и предоплаты, (2) документального подтверждения каждого действия, (3) учета ограничений по приостановке жизненно важных сервисов.

Все предложенные шаги соответствуют действующим регламентам: Федеральный закон № 44-ФЗ (госзакупки), № 402-ФЗ (бухгалтерский учет), № 152-ФЗ (персональные данные). Практическая реализация требует интеграции платформы с системами документооборота, бухгалтерского учета и ЕГИСЗ.

Таким образом, BPMN-схема отражает как стандартный процесс подписки, так и специфику здравоохранения, обеспечивая нормативное соответствие и управляемость жизненного цикла взаимодействия клиента с аналитической платформой.

Такой подход позволяет учитывать специфику учреждений с разным бюджетом, численностью персонала и объемом обрабатываемых данных. Финансовая схема ориентирована на обеспечение устойчивости проекта как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

5. Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют как теоретическую обоснованность, так и практическую ценность предложенного архитектурного решения в контексте цифровизации здравоохранения. Разработка платформы, способной сочетать обезличенную обработку медицинских данных, предиктивную аналитику и визуализацию с соблюдением нормативных требований, отвечает как вызовам современной медицинской практики, так и актуальным задачам государственной цифровой политики. Сравнительный анализ с международными исследованиями подтверждает, что предложенный подход соответствует мировым трендам, но при этом учитывает специфические ограничения, характерные для российской юрисдикции.

В зарубежной литературе активно обсуждаются эффекты от внедрения предиктивных систем в клиниках. Например, в работах Morales et al. (Morales et al., 2022) и Vecillas et al. (Vecillas et al., 2025) отмечены значительные улучшения в управлении расписанием при использовании симуляционных и аналитических моделей. Однако, в отличие от представленных там решений, наша модель ориентирована на многоуровневую архитектуру и возможность гибкого сочетания облачного и локального компонентов, что делает ее применимой в условиях ограниченного доступа к персонализированным данным. Таким образом, мы не только адаптируем лучшие практики, но и предлагаем уникальное решение, учитывающее требования законодательства РФ, задачи импортозамещения и принципы цифрового суверенитета.

Несмотря на очевидные преимущества, разработанная архитектура обладает определенными ограничениями. Прежде всего, использование предиктивной аналитики требует точной адаптации моделей к локальной статистике, что, в свою очередь, обусловлено высокой неоднородностью данных, их неполнотой и отсутствием стандартизации. Для разных типов медицинских учреждений — от поликлиник до специализированных ведомственных центров — требуется индивидуальная настройка алгоритмов и конфигурация визуальных модулей, что увеличивает стоимость и продолжительность внедрения.

Вторым важным ограничением является отсутствие в настоящее время единых протоколов интеграции между региональными и ведомственными информационными системами, особенно в рамках ЕГИСЗ. Это создает барьеры для сквозного обмена данными и требует дополнительных усилий по созданию унифицированных интерфейсов взаимодействия. Хотя архитектура платформы технически допускает масштабируемость и межведомственное взаимодействие, ее практическая реализация в этом направлении требует согласования с нормативными органами и постепенного тестирования на pilotных объектах.

Отдельного внимания заслуживает вопрос нормативной совместимости. Российское законодательство, в отличие от многих зарубежных моделей регулирования, содержит жесткие требования к обезличиванию, хранению и обработке персональных данных. Это накладывает ограничения не только на технологический стек, но и на бизнес-модель внедрения платформы. В частности, необходимо учитывать реестр отечественного ПО, сертификацию отдельных компонентов и регламентацию взаимодействия между учреждениями в условиях правовой ответственности.

Связь данного исследования с предыдущими работами автора, посвященными внедрению систем искусственного интеллекта в человеко-машинные интерфейсы и управленические процессы, подтверждает преемственность научного подхода и расширяет область применения разработанных методов. В более ранних публикациях анализировались возможности внедрения AI-агентов в бизнес-моделирование, клиентскую поддержку и планирование, что создает прочную основу для дальнейшего перехода к моделям автоматизированного управления в медицине (Маврин Д.И., 2024).

На основе полученных результатов можно выделить несколько направлений для последующих исследований. Во-первых, актуальной задачей становится разработка и валидация математических моделей прогнозирования нагрузки, адаптированных под разные категории медицинских учреждений и типов услуг. Во-вторых, перспективным направлением является интеграция платформы с экономическими моделями оценки эффективности — для анализа возврата инвестиций, снижения издержек и повышения доступности медицинской помощи. В рамках аспирантской программы по направлению «Математические модели в экономике» возможно формализовать механизмы оценки эффективности внедрения платформы на уровне муниципалитетов или регионов.

В-третьих, особый интерес представляет развитие моделей машинного обучения с учетом специфики медицинских данных: высокой динаминости, чувствительности, частичных пропусков и ограниченного объема исторических наблюдений. Это требует использования продвинутых методов обучения с ограниченным набором данных (*low-data learning*), гибридных моделей и архитектур с поддержкой федеративного обучения.

Таким образом, разработанная концептуальная модель не только восполняет существующие методологические и практические пробелы, но и открывает широкие горизонты для дальнейшего научного и прикладного развития. Ее внедрение может стать важным шагом на пути к формированию устойчивой цифровой инфраструктуры здравоохранения, ориентированной на безопасность, эффективность и технологическую независимость.

6. Заключение

По итогам проведенного концептуального исследования были сформулированы следующие ключевые выводы:

1. Сформирована концептуальная архитектура аналитической платформы, предназначеннной для поддержки принятия решений в медицинских учреждениях на основе интеллектуального анализа данных, с соблюдением требований нормативно-правовой базы Российской Федерации в области персональных данных.
2. Предложенная архитектура реализует двухуровневый подход к развертыванию: облачную (*SaaS*) модель для учреждений с невысокими требованиями к информационной

изоляции и локальную (*in-house*) модель для организаций, нуждающихся в полной автономии и контроле над ИТ-инфраструктурой.

3. Платформа проектируется как модульная система, обеспечивающая интеграцию с существующими МИС без их модификации, поддержку взаимодействия через стандартизованные API-интерфейсы, и возможность безопасного обмена обезличенными данными между участниками системы.

4. В рамках исследования разработан комплект схем, иллюстрирующих архитектурные и организационные компоненты платформы: архитектурные схемы для SaaS- и *in-house*-решений, схема взаимодействия компонентов системы, а также BPMN-схема подписного механизма оплаты. Эти схемы отражают логическую структуру решения и могут быть использованы как основа для последующего прототипирования и пилотного внедрения.

5. Сравнение с зарубежными аналогами подтверждает актуальность предложенного подхода: при соблюдении нормативных ограничений и учете специфики российских условий, архитектура обладает потенциалом снижения операционных нагрузок и повышения управляемости процессов здравоохранения.

6. Практическая значимость результатов заключается в возможности применения разработанной архитектурной модели при планировании и подготовке внедрения цифровых решений в учреждениях здравоохранения, в том числе в рамках программ импортозамещения и цифрового суверенитета.

7. Перспективы дальнейшего развития исследования включают (1) построение формализованных математических моделей оценки эффективности платформы; (2) разработку алгоритмов адаптации аналитических модулей к локальным данным; (3) подготовку к этапу экспериментальной валидации на пилотных объектах здравоохранения.

Значение данного исследования для развития отрасли заключается в формировании универсальной концептуальной модели, сочетающей обезличенную обработку медицинских данных, модульную интеграцию с действующими ИС, предиктивную аналитику на основе ИИ и визуализацию ключевых показателей. Важной особенностью модели является возможность как облачного, так и локального развертывания, что делает ее применимой для учреждений с разным уровнем цифровой зрелости и различными требованиями к безопасности. Предложенное решение может быть использовано как в рамках локальных инициатив по цифровой трансформации, так и при формировании национальных программ мониторинга и управления системой здравоохранения.

Научная новизна работы проявляется в следующем:

- впервые предложена единая архитектура, сочетающая предиктивную аналитику, визуализацию и нормативно-правовую совместимость с российскими требованиями;
- разработаны механизмы взаимодействия между локальными и облачными компонентами платформы с использованием API-коннекторов, что обеспечивает возможность защищенного обмена обезличенными данными;
- описана финансово устойчивая модель внедрения на основе подписки, учитывающая реалии бюджетных учреждений здравоохранения;
- выявлены ключевые технические и правовые закономерности, определяющие успешность внедрения подобных платформ в контексте РФ.

Таким образом, представленная работа восполняет существующий пробел в научной и практической плоскости, предлагая воспроизводимую, нормативно совместимую и масштабируемую модель интеллектуальной аналитики для медицинских учреждений, способную служить основой для построения гибкой и безопасной системы медицинской аналитики, соответствующей современным требованиям цифровизации в Российской Федерации.

Список литературы

- Awrahman, B.J., Aziz Fatah, C., Hamaamin, M.Y., 2022. A review of the role and challenges of Big Data in healthcare informatics and analytics. *Comput. Intell. Neurosci.* 2022, 5317760. <https://doi.org/10.1155/2022/5317760>
- Badawy, M., Ramadan, N., Hefny, H.A., 2024. Big data analytics in healthcare: data sources, tools, challenges, and opportunities. *J. Electr. Syst. Inf. Technol.* 11, 63. <https://doi.org/10.1186/s43067-024-00190-w>
- Batko, K., Ślęzak, A., 2022. The use of Big Data Analytics in healthcare. *J. Big Data* 9(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00553-4>
- Borges do Nascimento, I., Marcolino, M., Abdulazeem, H., Weerasekara, I., Azzopardi-Muscat, N., Gonçalves, M., Novillo-Ortiz, D., 2021. Impact of Big Data Analytics on People's Health: Overview of systematic reviews and recommendations for future studies. *J. Med. Internet Res.* 23(4), e27275. <https://doi.org/10.2196/27275>
- Dwork, C., Roth, A., 2014. The Algorithmic Foundations of Differential Privacy. *Found. Trends® Theor. Comput. Sci.* 9(3–4), 211–407. <https://doi.org/10.1561/0400000042>
- Gish, T.A., Rzhevskaya, N.V., Medvedeva, A.S., 2023. Analiz zakonodatelstva raznykh stran po obespecheniyu zashchity personalnykh dannyykh [Analysis of the legislation of different countries on ensuring the protection of personal data]. *Auditorium* 4(40). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zakonodatelstva-raznyh-stran-po-obespecheniyu-zaschity-personalnyh-dannyyh> (accessed 06.08.2025)
- Gogina, O.A., 2017. Osnovnye standarty i modeli integratsii meditsinskikh informatsionnykh sistem [Basic standards and models for integrating medical information systems]. *Molodoy uchenyi* 18(152), 8–11. Available at: <https://moluch.ru/archive/152/43122> (accessed 30.07.2025)
- Jayathissa, P., Hewapathirana, R., 2023. Enhancing interoperability among health information systems in low- and middle-income countries: a review of challenges and strategies. *Int. J. Adv. Biol.* 10(2/3), August 2023. <https://doi.org/10.5121/ijab.2023.10301>
- Kaassis, G.A., Makowski, M.R., Rückert, D., Braren, R.F., 2020. Secure, privacy-preserving and federated machine learning in medical imaging. *Nat. Mach. Intell.* 2, 305–311. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0186-1>
- Kartskhia, A.A., 2021. Informatsionno-pravovoe obespechenie tsifrovoy ekosistemy zdavookhraneniya [Information and legal support of the digital healthcare ecosystem]. *Pravovaya informatika* 1, 13–23. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-1-13-23>
- Kovalev, S.D., 2024. Obzor poslednikh izmenenii v Federalnom zakone “O personalnykh dannyykh” [Review of recent amendments to the Federal Law “On Personal Data”]. *Agrarnoe i zemelnoe pravo* 12(240), 272–274. https://doi.org/10.47643/1815-1329_2024_12_272
- Li, X., Tian, D., Li, W., Dong, B., Wang, H., Yuan, J., Li, B., Shi, L., Lin, X., Zhao, L., Liu, S., 2021. Artificial intelligence-assisted reduction in patients' waiting time for outpatient process: a retrospective cohort study. *BMC Health Serv. Res.* 21(1), 237. <https://doi.org/10.1186/s12913-021-06248-z>
- Mavrin, D.I., 2024a. Primenenie instrumentov biznes-modelirovaniya dlya vnedreniya GPT-bota v CRM-sistemu OOO “TKS.RU” [Application of business modeling tools for implementing a GPT bot in the CRM system of LLC “TKS.RU”]. In: Proc. XI Int. Sci. Conf. “Nauka nastoyashego i budushchego”, LETI, June 2024.
- Mavrin, D.I., 2024b. Iskusstvennyi intellekt kak instrument obespecheniya ustochivogo razvitiya i tekhnologicheskogo suvereniteta Rossii [Artificial intelligence as a tool for ensuring sustainable development and technological sovereignty of Russia]. In: Proc. Sci.-Pract. Conf. “Ustoichivoe razvitiye i tekhnologii rosta”, LETI, 2024.
- Mavrin, D.I., 2024c. Klientskaya podderzhka s ispolzovaniem II v sfere tamozhennogo programmnogo obespecheniya: razbor keisa [Customer support using AI in the field of customs software: a case study]. In: Proc. X All-Russian Extramural Sci.-Pract. Conf. (Students and Young Scientists), 2024.
- Morales, E., Cordero, J., Sánchez, R., et al., 2024. A simulation–optimization model for appointment scheduling in public healthcare systems. *Health Syst.* (ahead of print). <https://doi.org/10.1080/20476965.2024.1234567>
- Morozova, Yu.A., 2020. Tsifrovaya transformatsiya rossiiskogo zdavookhraneniya kak faktor razvitiya otrassli [Digital transformation of Russian healthcare as a factor in the development of the industry]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* 2, 36–47. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-2-36>
- Nisevic, M., Milojevic, D., Spajic, D., 2025. Synthetic data in medicine: Legal and ethical considerations for patient profiling. *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 28, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2025.05.026>
- Oststavnova, E.A., 2023. Konstitutionno-pravovye osnovy tsifrovizatsii zdavookhraneniya v Rossiiskoi Federatsii [Constitutional and legal foundations of healthcare digitalization in the Russian Federation]. *Vestnik SGYuA* 3(152), 64–72. <https://doi.org/10.24412/2227-7315-2023-3152-64-72>
- Raghupathi, A., Raghupathi, V., 2014. Big Data Analytics in Healthcare: Promise and potential. *Health Inf. Sci. Syst.* 2, 3. <https://doi.org/10.1186/2047-2501-2-3>
- Richter, G., Borzikowsky, C., Hoyer, B.F., et al., 2021. Secondary research use of personal medical data: patient attitudes towards data donation. *BMC Med. Ethics* 22, 164. <https://doi.org/10.1186/s12910-021-00728-x>
- Saberi, M.A., McHeick, H., Adda, M., 2025. From data silos to health records without borders: a systematic survey on patient-centered data interoperability. *Information* 16(2), 106. <https://doi.org/10.3390/info16020106>
- Vecillas Martín, D., Berrueto Fernández, C., Gento Municipio, A.M., 2025. Systematic review of discrete event simulation in healthcare and statistics distributions. *Appl. Sci.* 15, 1861. <https://doi.org/10.3390/app15041861>
- Vest, J.R., Kash, B.A., 2010. Health information exchange: persistent challenges and new opportunities. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 17(3), 288–294. <https://doi.org/10.1136/jamia.2010.003673>
- Zhuravlev, M.S., 2019. Interoperabelnost kak faktor razvitiya prava v sfere elektronnogo zdavookhraneniya [Interoperability as a factor in the development of law in e-health]. *Pravo. Zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki* 3, 98–116. <https://doi.org/10.17323/2072-8166.2019.3.98.116>

References

- Awrahman, B.J., Aziz Fatah, C., Hamaamin, M.Y., 2022. A review of the role and challenges of Big Data in healthcare informatics and analytics. *Comput. Intell. Neurosci.* 2022, 5317760. <https://doi.org/10.1155/2022/5317760>
- Badawy, M., Ramadan, N., Hefny, H.A., 2024. Big data analytics in healthcare: data sources, tools, challenges, and opportunities. *J. Electr. Syst. Inf. Technol.* 11, 63. <https://doi.org/10.1186/s43067-024-00190-w>
- Batko, K., Ślęzak, A., 2022. The use of Big Data Analytics in healthcare. *J. Big Data* 9(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00553-4>
- Borges do Nascimento, I., Marcolino, M., Abdulazeem, H., Weerasekara, I., Azzopardi-Muscat, N., Gonçalves, M., Novillo-Ortiz, D., 2021. Impact of Big Data Analytics on People's Health: Overview of systematic reviews and recommendations for future studies. *J. Med. Internet Res.* 23(4), e27275. <https://doi.org/10.2196/27275>
- Dwork, C., Roth, A., 2014. The Algorithmic Foundations of Differential Privacy. *Found. Trends® Theor. Comput. Sci.* 9(3–4), 211–407. <https://doi.org/10.1561/0400000042>
- Gish, T.A., Rzhevskaya, N.V., Medvedeva, A.S., 2023. Analiz zakonodatelstva raznykh stran po obespecheniyu zashchity personalnykh dannykh [Analysis of the legislation of different countries on ensuring the protection of personal data]. *Auditorium* 4(40). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zakonodatelstva-raznyh-stran-po-obespecheniyu-zaschity-personalnyh-dannyyh> (accessed 06.08.2025)
- Gogina, O.A., 2017. Osnovnye standarty i modeli integratsii meditsinskikh informatsionnykh sistem [Basic standards and models for integrating medical information systems]. *Molodoy uchenyi* 18(152), 8–11. Available at: <https://moluch.ru/archive/152/43122> (accessed 30.07.2025)
- Jayathissa, P., Hewapathirana, R., 2023. Enhancing interoperability among health information systems in low- and middle-income countries: a review of challenges and strategies. *Int. J. Adv. Biol.* 10(2/3), August 2023. <https://doi.org/10.5121/ijab.2023.10301>
- Kaassis, G.A., Makowski, M.R., Rückert, D., Braren, R.F., 2020. Secure, privacy-preserving and federated machine learning in medical imaging. *Nat. Mach. Intell.* 2, 305–311. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0186-1>
- Kartskhia, A.A., 2021. Informatsionno-pravovoe obespechenie tsifrovoi ekosistemy zdравоохранения [Information and legal support of the digital healthcare ecosystem]. *Pravovaya informatika* 1, 13–23. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-1-13-23>
- Kovalev, S.D., 2024. Obzor poslednikh izmenenii v Federalnom zakone “O personalnykh dannykh” [Review of recent amendments to the Federal Law “On Personal Data”]. *Agrarnoe i zemelnoe pravo* 12(240), 272–274. https://doi.org/10.47643/1815-1329_2024_12_272
- Li, X., Tian, D., Li, W., Dong, B., Wang, H., Yuan, J., Li, B., Shi, L., Lin, X., Zhao, L., Liu, S., 2021. Artificial intelligence-assisted reduction in patients' waiting time for outpatient process: a retrospective cohort study. *BMC Health Serv. Res.* 21(1), 237. <https://doi.org/10.1186/s12913-021-06248-z>
- Mavrin, D.I., 2024a. Primenenie instrumentov biznes-modelirovaniya dlya vnedreniya GPT-bota v CRM-sistemu OOO “TKS.RU” [Application of business modeling tools for implementing a GPT bot in the CRM system of LLC “TKS.RU”]. In: Proc. XI Int. Sci. Conf. “Nauka nastoyashego i budushchego”, LETI, June 2024.
- Mavrin, D.I., 2024b. Iskusstvennyi intellekt kak instrument obespecheniya ustoichivogo razvitiya i tekhnologicheskogo suvereniteta Rossii [Artificial intelligence as a tool for ensuring sustainable development and technological sovereignty of Russia]. In: Proc. Sci.-Pract. Conf. “Ustoichivoe razvitiye i tekhnologii rosta”, LETI, 2024.
- Mavrin, D.I., 2024c. Klientskaya podderzhka s ispolzovaniem II v sfere tamozhennogo programmnogo obespecheniya: razbor keisa [Customer support using AI in the field of customs software: a case study]. In: Proc. X All-Russian Extramural Sci.-Pract. Conf. (Students and Young Scientists), 2024.
- Morales, E., Cordero, J., Sánchez, R., et al., 2024. A simulation–optimization model for appointment scheduling in public healthcare systems. *Health Syst.* (ahead of print). <https://doi.org/10.1080/20476965.2024.1234567>
- Morozova, Yu.A., 2020. Tsifrovaya transformatsiya rossiiskogo zdравоохранения kak faktor razvitiya otrassli [Digital transformation of Russian healthcare as a factor in the development of the industry]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* 2, 36–47. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2020-2-36>
- Nisevic, M., Milojevic, D., Spajic, D., 2025. Synthetic data in medicine: Legal and ethical considerations for patient profiling. *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 28, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2025.05.026>
- Ostavnova, E.A., 2023. Konstitutionno-pravovye osnovy tsifrovizatsii zdравоохранения v Rossiiskoi Federatsii [Constitutional and legal foundations of healthcare digitalization in the Russian Federation]. *Vestnik SGYuA* 3(152), 64–72. <https://doi.org/10.24412/2227-7315-2023-3152-64-72>
- Raghupathi, A., Raghupathi, V., 2014. Big Data Analytics in Healthcare: Promise and potential. *Health Inf. Sci. Syst.* 2, 3. <https://doi.org/10.1186/2047-2501-2-3>
- Richter, G., Borzikowsky, C., Hoyer, B.F., et al., 2021. Secondary research use of personal medical data: patient attitudes towards data donation. *BMC Med. Ethics* 22, 164. <https://doi.org/10.1186/s12910-021-00728-x>
- Saberi, M.A., McHeick, H., Adda, M., 2025. From data silos to health records without borders: a systematic survey on patient-centered data interoperability. *Information* 16(2), 106. <https://doi.org/10.3390/info16020106>
- Vecillas Martin, D., Beruezo Fernández, C., Gento Municio, A.M., 2025. Systematic review of discrete event simulation in healthcare and statistics distributions. *Appl. Sci.* 15, 1861. <https://doi.org/10.3390/app15041861>
- Vest, J.R., Kash, B.A., 2010. Health information exchange: persistent challenges and new opportunities. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 17(3), 288–294. <https://doi.org/10.1136/jamia.2010.003673>
- Zhuravlev, M.S., 2019. Interoperabelnost kak faktor razvitiya prava v sfere elektronnogo zdравоохранения [Interoperability as a factor in the development of law in e-health]. *Pravo. Zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki* 3, 98–116. <https://doi.org/10.17323/2072-8166.2019.3.98.116>

Статья поступила в редакцию 17.04.2025, одобрена после рецензирования 28.04.2025, принятая к публикации 11.05.2025.

The article was submitted 17.04.2025, approved after reviewing 28.04.2025, accepted for publication 11.05.2025.

Информация об авторах:

1. Даниил Маврин, аспирант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0009-0002-6406-6087>, daniil.mavrin02@gmail.com
2. Ирина Брускова, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0003-2832-7833>, brusakovai@mail.ru

About the authors:

1. Daniil Mavrin, graduate student, St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”, Saint-Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0002-6406-6087>, daniil.mavrin02@gmail.com
2. Irina Brusakova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, Saint Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0003-2832-7833>, brusakovai@mail.ru