



Эволюционный подход к обеспечению преемственности медицинской помощи в адаптивной и многоагентной цифровой экосистеме

Дмитрий Владимирович Бельшев^{1✉}, Александр Евгеньевич Михеев²

^{1,2} Институт программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, Вельского, Россия

[✉] belyshev@interin.ru

Аннотация. Статья отвечает на вызовы современного здравоохранения, связанные с неэффективностью централизованных моделей обмена данными. Преемственность медицинской помощи представлена горизонтальной и вертикальной интеграцией различных медицинских технологических процессов в сложной адаптивной децентрализованной и многоагентной экосистеме на основе совместного использования данных о пациенте.

Материалы и методы: на основе анализа зарубежного и отечественного опыта и собственной практики, эволюционный подход предполагает децентрализованную цифровую медицинскую экосистему. Общая коммуникационная платформа обеспечивает обмен данными, включая неструктурированные. Взаимодействующие автономные и полуавтономные ИИ-агенты интеллектуализируют процессы на принципах информационной логики. Эффективность подхода оценивается анализом гипотетического клинического сценария взаимодействия медицинских организаций.

Результаты: Представлена целевая концепция медицинской экосистемы, фокусирующейся на данных и генерировании новых знаний о здоровьесбережении. Сформулированы фундаментальные принципы создания и управления экосистемой, а также ее элементами – отдельными МО-участниками. Большая открытость и слабая связанность системы позволяет участникам использовать полученные знания и данные по-своему в отдельных экосистемах МО-участников или их объединений. В такой архитектуре цифровой медицинской экосистемы стратегическая роль отводится не хранилищу, а общей коммуникационной платформе. Предложена гибридная архитектура экосистемы, в которой централизованные системы (например, ЕГИСЗ) становятся инфраструктурными катализаторами экосистемы здравоохранения. Они предоставляют сервисы реестров, доверенной аутентификации, аудита и хостинга, в то время как актуальные данные и экспертиза остаются в источниках (медицинских организациях) и доступны через децентрализованные запросы. Доказана техническая осуществимость модели. Ее экономическая эффективность вытекает из практической результативности без предварительной семантической унификации всех систем.

Заключение: предложенный эволюционный подход открывает путь к бесшовному здравоохранению через последовательные итерации без революционной ломки процессов. Симбиоз коммуникационной платформы и многоагентной системы создает устойчивую, ориентированную на пациента среду, где преемственность помощи обеспечивается за счет активного, интеллектуального взаимодействия между врачами и системами.

Ключевые слова и фразы: преемственность медицинской помощи, бесшовное здравоохранение, цифровая медицинская экосистема, интероперабельность, коммуникационная платформа, ИИ-агенты, информационная логистика, ЕГИСЗ, децентрализация

Для цитирования: Бельшев Д.В., Михеев А.Е. Эволюционный подход к обеспечению преемственности медицинской помощи в адаптивной и многоагентной цифровой экосистеме // Программные системы: теория и приложения. 2025. Т. 16. № 6(71). С. 155–196. https://psta.psiras.ru/read/psta2025_6_155-196.pdf

Введение

В процесс оказания медицинской помощи пациент может обращаться в разные медицинские организации (МО), включая больницы, поликлиники, реабилитационные центры, и к разным специалистам. Для постановки правильного диагноза, обеспечения безопасности пациента и для организации эффективного лечения действия разных участников лечебно-диагностического процесса необходимо координировать с помощью адекватного информационного обмена (коммуникаций). Разделение медицинской помощи на этапы, а также разделение в некоторых случаях диагностических и клинических функций подразумевает существование распределенной (иногда изолированной) информационной инфраструктуры. Прерывистость информационной инфраструктуры влечет за собой множество проблем для здоровьесбережения граждан, что особенно заметно при практически полном отсутствии взаимодействия коммерческих и государственных МО.

Внутри одной МО лечебно-диагностический процесс также разбивается на множество разнородных элементов, охватывая узких специалистов (например, кардиологов, дерматологов) или представителей одной специальности (кардиологов, сердечно-сосудистых хирургов, реаниматологов и медсестер), или процессы, в которых задействованы разные сотрудники (например, регистраторы, администраторы, экономисты и т.п.). Это усугубляет разобщенность и затрудняет достижение общей цели – преемственной и эффективной медицинской помощи как в масштабах страны, так и для граждан, проживающих в одном регионе, муниципальном образовании или работающих в одном ведомстве.

Между тем, идеал современного здравоохранения – беспрепятственное или бесшовное здравоохранение (англ. *Seamless Healthcare*) – концепция, в которой все процессы, информация и взаимодействия происходят непрерывно, эффективно и без искусственных барьеров [1]. Это достигается, в первую очередь, за счет бесшовного обмена данными, который понимается как состояние медицинской экосистемы, при котором данные беспрепятственно, безопасно и в реальном времени перемещаются между различными системами и организациями, обеспечивая целостное представление о пациенте и поддерживая скоординированную медицинскую помощь.

Фундаментальным организационным принципом, на котором держится концепция бесшовного здравоохранения, является преемственность медицинской помощи – скоординированный и непрерывный процесс оказания помощи пациенту на разных этапах и между разными МО, ориентированный на меняющиеся нужды пациентов. То есть, когда каждый следующий врач или МО, к которым обращается пациент, полностью осведомлены о его состоянии, поставленных ранее диагнозах и проведённом лечении.

Чтобы обеспечить надлежащую программную поддержку для такого скоординированного процесса, с учетом особенностей предметной области (децентрализации информации, ресурсов, компетенций и ответственности), предлагается использовать агентный подход [2]. Тогда преемственность медицинской помощи можно представить как горизонтальную (между МО) и вертикальную (между этапами) интеграцию различных медицинских технологических процессов в сложной адаптивной системе [3,4] или медицинской экосистеме, характеризующейся распределенностью, индивидуальным поведением множества агентов и самостоятельностью в достижении определенных целей, как отдельными агентами (МО, пациенты), так и совокупностью некоторого объединения таких агентов вплоть до уровня всей экосистемы.

Таким образом, успешная реализация преемственности непосредственно проявляется в реализации идеи бесшовной медицинской помощи в сложной адаптируемой многоагентной и децентрализованной экосистеме на основе совместного использования данных о пациенте. Бесшовность характеризуется отсутствием процессных и информационных разрывов для конечных потребителей – пациентов (в первую очередь) и врачей, независимо от их местонахождения и времени. Для ликвидации разрывов необходимо обеспечить возможность обмена важной клинической информацией в семантически и синтаксически совместимых форматах в рамках базовой информационно-коммуникационной инфраструктуры.

Концепция комплексной цифровой медицинской экосистемы [5] является таким системообразующим базисом, интегрирующим технологические, организационные и социальные аспекты оказания медицинской помощи и обеспечивая взаимодействие её компонентов. Однако на пути к идеалу

стоят серьезные преграды: разрозненность МИС и других информационных систем, отсутствие единых стандартов, организационное и юридическое сопротивление. Попытки достичь «идеальной» интероперабельности – полной семантической унификации всех электронных медицинских карт (ЭМК) часто терпят неудачу из-за технической сложности, высокой стоимости и культурных барьеров [6–8].

В данном исследовании предлагается эволюционный подход к организации преемственной медицинской помощи, ключевым элементом которого является общая коммуникационная платформа цифровой медицинской экосистемы, усиленная системой взаимодействующих автономных и полуавтономных программных агентов.

1. Преемственность медицинской помощи в адаптивной и многоагентной среде

Одной из самых важных особенностей медицины, как предметной области цифровизации, является значительное физическое распределение (децентрализация) информации, ресурсов, компетенций и ответственности для решения проблем пациентов между разными агентами, которые должны взаимодействовать для достижения заданной цели лечения и/или здоровьесбережения соответствующим образом [2]. Под агентами здесь понимаются объекты (МО) и субъекты (пациент, врач или медсестра), совместно участвующие в системном лечебно-диагностическом процессе и выполняющие некоторую программу лечения.

Во-вторых, в условиях децентрализации и различных ограничений, например по стоимости лечения, решения часто принимаются на основе неполной информации (например, диагноз может быть поставлен без исчерпывающего обследования). И, наконец, поскольку окружающая среда динамична и непредсказуема, агенты, ответственные за решение проблем, должны демонстрировать разумное, целенаправленное поведение, что предполагает реагирование на изменения в конкретных ситуациях и обстоятельствах: планировать, отслеживать процесс выполнения планов и, при необходимости, вносить изменения и уточнения в свете новых требований, новой информации, новых регламентов и новых достижений медицинской науки.

Агенты не являются полностью автономными, так как принимают собственные решения в рамках внешних ограничений, например:

- решения врача ограничены клиническими руководствами и стандартами лечения;
- больница ограничена имеющимися ресурсами;
- пациент – диагнозом и финансовыми возможностями.

Агенты взаимодействуют друг с другом линейно и нелинейно, обмениваясь информацией и ресурсами. Ни один агент не может достичь своей цели в одиночку. Их автономия существует только благодаря взаимодействию и обратной связи от других агентов, которая корректирует их поведение. То есть, автономия – это не абсолютная независимость, а свобода действовать в пределах своей компетенции, роли, контекста и наличия связи с другими агентами [3, 4].

Каждому субъекту или объекту медицинской помощи, такому как пациент, врач или медсестра, могут сопоставляться программные агенты – программные системы, способные автономно или полуавтономно выполнять задачи, связанные с различными аспектами здравоохранения. Программные агенты могут представлять также подразделения, отдельные методы, технологические ресурсы или целиком МО и обладают следующими характеристиками [9]:

автономность – функционируют без непосредственного участия человека, контролируют свои действия и свое внутреннее состояние;

социальность – взаимодействуют с другими агентами и человеком с помощью специального агента-посредника для достижения определенных общих целей;

реактивность – способны воспринимать окружение и гибко реагировать на изменения этого окружения;

проактивность – не только реагируют на внешние изменения, но и обладают целеориентированным поведением, которое становится проявлением их собственной инициативы.

Агент-посредник может быть интегрирован с имеющимися стандартами взаимодействия, например FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources),

или соответствовать требованиям различных стандартов одновременно. Таким образом, требования по форматам взаимодействия любой МИС МО можно удовлетворять программными агентами, действующими как информационные посредники. С другой стороны, агент, связанный с конкретной МИС, может сам преобразовать обращение к ней в частный сервисный запрос, воспринимаемый локальным ПО. Результат выполнения запроса переводится в сообщение агента, которое подлежит дальнейшей обработке. В результате система агентов может выполнять разнообразные дополнительные функции.

Интересно отметить, что, согласно одному из определений, искусственный интеллект (ИИ) – это создание агентов, демонстрирующих аспекты интеллектуального поведения [9, 10], то есть рационально выбирающих оптимальные действия для достижения поставленной цели на основе имеющейся информации. Концепция агентов стала сегодня одним из важнейших направлений исследований, как в области (ИИ), так и для ИТ в целом. ИИ играет все более важную роль и в медицине, помогая врачам принимать решения в условиях неопределенности (например, при постановке диагноза, выборе терапии и тестов, а также при назначении лекарств), предоставляя пользователю необходимую информацию проактивно (автоматически и заранее).

Поэтому далее мы будем использовать термины «ИИ-агент», «интеллектуальный агент» или «агентный ИИ» в равной степени, а также расширим список характеристик интеллектуального агента [11]:

интеллектуальность – принимают решения на основе принципа ограниченной рациональности [12], а не полной оптимизации. Это означает, что агенты действуют в условиях неполной информации и ограниченных вычислительных возможностей;

репрезентативность – агент является типичным представителем моделируемой группы, обладая характерными для неё атрибутами, правилами поведения и методами принятия решений;

расположение в среде – агент существует в определённой «среде обитания» и обладает горизонтом видения – он воспринимает и взаимодействует только с частью среды, а не со всей системой целиком. Эти дополнительные свойства определяют, что ИИ-агент может быть как автономным, так и полуавтономным:

автономность – способность действовать без прямого внешнего вмешательства, опираясь на свои цели и правила;

полуавтономность – способность действовать самостоятельно в рамках, заданных более широкой системой или вышестоящим агентом.

Свойство репрезентативности означает, что агент отражает свойства реального объекта.

В моделируемой системе объекты (врачи, поликлиники, больницы, диагностические центры) могут обладать разной степенью самостоятельности.

Горизонт видения определяет информационные условия, в которых агент действует автономно или полуавтономно. Автономный агент с узким *горизонтом видения* принимает решения на основе неполной локальной информации. Полуавтономный агент может иметь свой *горизонт видения*, но его решения корректируются или перекрываются информацией или командами от другого агента или системы.

Согласно определению и свойствам ИИ-агентов, они хорошо подходят как для информационной интеграции различных МИС, так и для реализации парадигмы преемственной медицинской помощи в цифровых медицинских экосистемах, ориентация на которые продолжается как в нашей стране¹, так и в мировом здравоохранении, вследствие цифровой трансформации других отраслей экономики и с учетом меняющихся запросов пациентов.

2. Подходы к обеспечению информационной интеграции медицинской помощи

Информационная интеграция или интероперабельность (здесь – межорганизационное взаимодействие) в современном здравоохранении является одной из сил, преобразующих оказание медицинской помощи. Согласно [13], около 92% медицинских учреждений США сегодня отдают приоритет интероперабельности для повышения повседневной эффективности и качества медицинской помощи.

¹Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 апреля 2024 г. № 959-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации здравоохранения» <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202404190016>.

Ценность интероперабельности в здравоохранении выходит далеко за рамки простого обмена данными. В [14], показано, что МО, использующие надежные решения для интероперабельности, достигли снижения медицинских ошибок до 67%, особенно в области предотвращения ошибок, связанных с лекарственными препаратами. Кроме того, документально подтвержденное сокращение, благодаря интероперабельным системам, дублирующих диагностических тестов является важным фактором экономии затрат и повышения удовлетворенности пациентов [13].

С технической стороны интероперабельность – способность осуществлять плавный обмен данными между множеством медицинских информационных систем МИС и приложений. Поэтому все разработчики современных МИС или других решений для здравоохранения инвестируют в интероперабельность и единые платформы – чтобы сделать принцип преемственности медицинской помощи реальностью, а не просто лозунгом.

Но, несмотря на успехи развития современных информационных технологий (ИТ), в частности комплексных МИС, даже внутри одного стационара все еще могут параллельно существовать несколько информационных систем, данные в которых могут храниться в несовместимых форматах и иметь разную структуру. В одном из докладов на проходившей в феврале 2025 года научно-практической конференции ИТМ ИИ 20252 утверждалось, что в некоторых МО Самарской области используется до 8 информационных систем, в которые врач должен вносить данные.

Практически при всех подходах к информационной интеграции в медицине РФ и не только используется идея общепринятых стандартов для обеспечения структурной совместимости медицинских документов и общая (единая или интегрированная) ЭМК. Такое взаимодействие является комбинацией базовой и структурной интероперабельности [1, 15]. Она устанавливает требования к взаимодействию, определяет формат, синтаксис и организацию обмена данными.

Например, с целью организации единого информационного пространства для участников системы государственного здравоохранения (МО, органов управления здравоохранением и территориального фонда ОМС) в России создана Единая государственная информационная система

здравоохранения (ЕГИСЗ), которая обеспечивает основное межорганизационное информационное взаимодействие МО на основе единой ЭМК (обязательной для всех пациентов, охваченных ОМС) и ряда других инфраструктурных подсистем.

Однако простая отправка данных в национальные системы здравоохранения не обеспечивает полноценную интероперабельность, которая подразумевает двусторонний, семантически совместимый обмен данными между различными системами и организациями для их непосредственного использования в оказании помощи пациенту [16].

Семантическая интероперабельность, которая гарантирует, что обе взаимодействующие системы могут интерпретировать и эффективно использовать имеющиеся у них данные, по-прежнему является сложной задачей, как правило несовместимой со сложными техническими ограничениями, меняющимися нормативными требованиями и надежными методами безопасности.

Поскольку вероятность создания единого глобального стандарта для семантической и синтаксической интеграции данных очень мала, интеграционные решения вынуждены исходить из допущения об одновременном использовании различных стандартов. Следует также учитывать, что затраты, необходимые для развертывания решений интероперабельности, например в США, составляют от 3% до 6% годового ИТ-бюджета МО, причем более крупные медицинские системы, как правило, выделяют эти средства более широко для обеспечения успешной реализации [13].

Очевидно, что ИТ-бюджеты крупных МО в США несопоставимы с расходами российских МО на внедрение МИС. В ряде исследований, например в [16], содержится прямой призыв к разработке масштабируемых и доступных моделей интероперабельности для ресурсно-ограниченных сред. Необходимы альтернативные подходы к взаимодействию МО, врачей и пациентов, отличающиеся меньшей стоимостью, большей гибкостью и способностью к адаптивности – умением быстро реагировать на изменения внешних условий.

В условиях цифровизации отрасли полноценная преемственность без технологической связанности практически недостижима. Поэтому вместо

термина «преемственность медицинской помощи» все чаще используется понятие «связанное здравоохранение» (англ. *Connected Healthcare*) – комплексная концепция и технологическая парадигма, которая использует цифровые технологии, телекоммуникации и интернет-платформы для интеграции всех участников системы здравоохранения (пациентов, врачей, МО, страховые компании) в единую сеть для непрерывного и скоординированного обмена данными и оказания медицинской помощи [17].

Концепция связанного здравоохранения призвана решить ключевые проблемы, которые исторически мешали преемственности, за счет технологий и реализации экосистемного подхода, включая:

- непрерывное взаимодействие между всеми этапами медицинского обслуживания от профилактики и диагностики до лечения и последующего наблюдения;
- доступность данных пациента в режиме времени, приближенном к реальному, всем уполномоченным специалистам;
- объединение данных из различных источников: ЭМК, носимые устройства, порталы и мобильные приложения личного кабинета пациента и др.;
- активное участие пациентов в процессе здоровьесбережения. Они имеют доступ к своим данным, могут дистанционно консультироваться с врачами, получать персонализированные рекомендации;
- использование современных технологий (телемедицины, искусственного интеллекта, облачных платформ и др.).

Цифровая медицинская экосистема определяется как решение, объединяющее различные ИТ-продукты, сервисы и МО в единую среду для оказания качественной помощи и совместного развития. Она обеспечивает, прежде всего, организационную интероперабельность [1], которая включает в себя вопросы управления, политики, социальные, правовые и организационные аспекты, способствующие безопасному, бесперебойному и своевременному обмену данными и их использованию как внутри организаций, юридическими и физическими лицами, так и между ними.

Эти компоненты обеспечивают согласие, доверие и интегрированные процессы для конечных пользователей, использующих цифровые сервисы

на общей платформе, осуществляющей поддержку сквозных процессов медицинской помощи, участниками которых являются многие МО, пациенты и другие экосистемы [5]. Коммуникация играет ключевую роль в жизнеспособности и эффективности такой экосистемы. Это не просто передача данных, а структурная основа, которая связывает разных участников и формирует общее информационное пространство. Поэтому в качестве платформы экосистемы предлагается рассматривать платформу интегрированных коммуникаций, предоставляющую механизм поддержки и развития клинико-административных межорганизационных процессов.

Коммуникационная платформа экосистемы реализует

Основной принцип информационной логистики: предоставление информации в нужное время, в нужном месте, в нужном количестве и качестве [18].

Информационная логистика – это «кровеносная система» преемственности медицинской помощи. Грамотно выстроенная информационная логистика превращает разрозненные данные в целостное представление истории болезни, которая следует за пациентом, обеспечивая безопасное, эффективное и непрерывное лечение вне зависимости от того, где физически хранятся отдельные документы ЭМК.

Чтобы реализовать принципы информационной логистики на практике, экосистема нуждается в интеллектуальных исполнителях. Ими становятся

ИИ-агенты – компьютерные сущности, обладающие автономностью, реактивностью, проактивностью, социальными навыками, а также интеллектуальностью.

Интеллектуальные агенты, выступая в роли посредников или активных помощников, делают коммуникацию в экосистеме не просто обменом данных, а осмысленным, проактивным и безопасным процессом. За счет гибкости и адаптивности программные агенты способны имитировать поведение реальных объектов в динамичной среде, какой является медицинская экосистема. Важно, что агенты могут быть как полностью автономными, так и полуавтономными, что позволяет им репрезентативно отражать реальные отношения в иерархических системах (например, врача и пациента) в рамках стратегии, заданной руководством МО.

Таким образом, связанное здравоохранение в контексте настоящей работы – это концепция технологической основы цифровой медицинской экосистемы, где технологии (коммуникационная платформа и агентный ИИ) делают медицинскую помощь более проактивной, персонализированной, доступной для каждого участника процесса и сфокусированной на человеке, а не на преодолении бюрократических и информационных барьеров.

В рамках эволюционного подхода к организации преемственной медицинской помощи путём информационной интеграции МИС МО (участников цифровой медицинской экосистемы) общей коммуникационной платформе отводится роль стратегического каркаса (фреймворка), обеспечивающего «быстрый старт» и эволюционное развитие.

Коммуникационная платформа экосистемы, как единый фреймворк для обмена медицинскими данными (структура управления, вопросы согласования, безопасности, идентификации и пр.) предоставляет продуманную структуру, набор правил и готовых компонентов для разработки программного обеспечения.

В процессе эксплуатации анализ потоков сообщений позволяет выявлять устойчивые связи и последовательно их улучшать посредством API или расширения номенклатуры ИИ-агентов, переводя взаимодействие из обмена сообщениями в стандартизированные ИТ-сервисы экосистемы.

3. Коммуникационная платформа как эволюционный каркас информационной интеграции в цифровой экосистеме

Современная медицинская помощь движется от изолированных систем МО и ручных процессов к интегрированным экосистемам, управляемым данными. Успех зависит не только от технологий, а от триединого подхода, сочетающего технологии, стратегию и культуру.

Технология является инструментом, эффективность которого зависит от качества человеческих отношений и коммуникации между всеми участниками процесса. Личный контакт остается незаменимым, для преодоления организационных барьеров и достижения истинной интероперабельности необходимы человеческие взаимосвязи, эффективные коммуникации в «духе сотрудничества [19].

Единое информационное пространство цифровой экосистемы – это среда, где все участники (врачи, пациенты, заказчики, страховщики, медицинские организации) получают согласованные и непротиворечивые сообщения. Это позволяет избежать недопонимания и обеспечивает непрерывность взаимодействия с сохранением контекста.

Коммуникации в такой экосистеме становятся её неотъемлемой частью, обеспечивая согласованность, координацию и единство целей. Через общую коммуникационную платформу происходит обмен знаниями, формируются общие правила и культура взаимодействия, что превращает разрозненные организации в саморегулируемую систему, способную создавать дополнительную ценность и снижать риски фрагментации.

Общая система коммуникаций между пациентами и врачами, а также между специалистами из разных медицинских организаций – это важный, но часто недооценённый, элемент интероперабельности. Такой подход технически проще и быстрее в реализации, чем достижение полной семантической совместимости ЭМК, которое сталкивается не только с техническими, но и с культурными, социальными, политическими и экономическими барьерами.

Преимущество коммуникационной платформы – в её простоте, универсальности и способности постепенно менять культуру взаимодействия, укрепляя доверие между участниками с разным уровнем знаний и обладания данными.

С одной стороны, экосистемный подход снижает затраты на владение технологиями для каждого участника, например расширяет доступ к технологиям искусственного интеллекта. С другой – он позволяет создавать сети взаимодействующих автономных ИИ-агентов и чат-ботов, каждый из которых решает узкие задачи, но координируется через общую платформу. Роль агентов в формировании инфраструктуры преемственной помощи многогранна:

- интеллектуальная маршрутизация данных: агенты, отслеживая события (выписка, новые анализы), автоматически направляют выписки, напоминания и оповещения нужным участникам (врачам, пациентам, смежным МО);

- проактивный мониторинг и поддержка решений: агент-анализатор, наблюдая за показателями хронического больного, не просто фиксирует отклонения, но и анализирует контекст, проактивно рекомендуя врачу скорректировать терапию или пациенту – обратиться к врачу за дополнительным обследованием;
- персонализированное взаимодействие с пациентом: агент-помощник, обладая целеустремленностью и способностью к обучению, адаптирует напоминания о визитах в МО и приемах медикаментов под конкретного пользователя;
- автоматизация сквозных процессов: агенты, взаимодействуя друг с другом, могут автономно координировать сложные кросс-организационные процессы, такие как плановая госпитализация, от подачи заявки до подготовки пациента;
- обеспечение безопасности: агенты могут динамически управлять доступом к данным, предоставляя врачу полную историю болезни на время лечения и ограничивая ее после выписки.

Использование ИИ-агентов превращает пространство обмена данными из пассивной среды в активную и интеллектуальную, где пациенты вовлекаются в процесс лечения, а врачи получают поддержку в принятии решений, автоматизации рутины, анализе данных и навигации по процессам.

Реализуемость предложенного подхода подтверждается мировой практикой, которая предлагает убедительные прецеденты, такие как сети обмена данными CommonWell/Carequality в США, NHS App в Великобритании и платформы телемедицины вроде Teladoc, демонстрирующие, что прагматичный подход «соедини, а не заменяй» является технически осуществимым, экономически эффективным и клинически результативным путем к обеспечению преемственности и бесповности медицинской помощи. Также можно обратиться к опыту проекта Прямого защищенного обмена сообщениями (англ. *Direct Secure Messaging – DSM*) в США, спецификация которого была разработана для продвижения взаимодействия между клиницистами, работающими в разных МО, путем снижения барьера для безопасного электронного обмена данными пациентов [20].

Посредством DSM отправляются сотни миллионов сообщений [21]. Его обычное использование включает переводы пациентов из одной

МО в другую (отправка выписок из медицинской карты и координация направлений), уведомления в реальном времени о движении (поступлениях, выписках и переводах) пациентов по скорой помощи, обмен сообщениями и административные функции.

Если вложенные в сообщения данные соответствуют общепринятым стандартам, одновременно поддерживаемым МИС МО-отправителя и получателя, например (CDA), отдельные элементы вложения могут быть непосредственно включены в принимающую ЭМК [21].

Появление и растущая популярность федеративной архитектуры (архитектуры, основанной на взаимодействии независимых, но кооперирующихся систем) также позволяет надеяться, что предлагаемый подход станет инновационным ответом, предназначенным для противодействия ограничениям централизованного обмена данными [22]:

- размывание владения данными (вопросы о контроле и ответственности за поддержание качества данных);
- проблемы масштабируемости, поскольку рост объемов и сложности медицинских данных может привести к снижению производительности, увеличению затрат и трудностям в поддержании доступности в реальном времени. Более того, централизация часто требует стандартизации всех участвующих МО, чего может быть трудно достичь из-за различий в функционале МИС, схемах данных и рабочих процессах.

Кроме того, использование централизованной системы обмена данными, например интегрированной электронной медицинской карты (ИЭМК) в составе ЕГИСЗ в качестве основного средства для интероперабельности создает риски и на практике часто приводит к «дефициту информационной логистики», а именно:

- зависимости от действий третьих сторон (МО). Данные в ИЭМК могут отсутствовать, потому что МО их не отправила по разным причинам (техническим, ресурсным, экономическим, бюрократическим, юридическим);
- проблемы «моментального снимка» вместо «живого» документа. Врач в приемном покое МО видит не актуальную картину, а то,

что было на момент выписки из стационара месяц назад. Если пациенту провели важное исследование после выписки (например, в коммерческой поликлинике), а результаты еще не попали в ИЭМК или никогда в нее не попадут, врач будет принимать решение в условиях неполной информации;

- проблемы качества данных. Центральная система не может гарантировать качество данных источника;
- единой точки отказа. Если центральная система недоступна (технический сбой, кибератака, обновление), доступ к документам истории болезни теряется полностью для всех.

Федеративные системы позволяют данным оставаться в учреждении-источнике, одновременно разрешая контролируемый доступ через совместимые интерфейсы. Этот подход уважает суверенитет данных, поддерживает соблюдение нормативных требований к конфиденциальности и сокращает необходимость крупномасштабной репликации данных.

В федеративных архитектурах запросы к данным распределяются по сети МО-участников, а результаты обрабатываются в реальном времени, позволяя пользователям получать доступ к информации о пациенте без централизации самих данных: можно запросить данные напрямую у предыдущей МО (где пациент лечился ранее).

Федеративная модель снижает общие риски утечки, минимизируя объем и частоту передачи данных — они запрашиваются целенаправленно и предварительно обрабатываются. Смещение рисков в сторону защиты узлов-источников и каналов связи является ожидаемым и закладывается в архитектуру системы безопасности с самого начала.

Логически ожидаемым следствием реализации предлагаемого подхода к формированию цифровой медицинской экосистемы, усиленной системой взаимодействующих автономных и полуавтономных программных агентов, станут значимые улучшения ключевых экономических и клинических показателей:

- сокращение непродуктивных затрат времени на межорганизационное взаимодействие. Интеграция защищенного мессенджера в рабочие места врачей и личные кабинеты пациентов, а также автоматизация

напоминаний и оповещений через ИИ-агентов сокращают время на организационные согласования;

- улучшается координация диагностических и лечебных процессов, включая переходы между этапами (поликлиника, стационар, реабилитация);
- ускоряется передача пациентов между организациями;
- снижаются риски потери информации при смене лечащего врача или ответственного специалиста;
- растёт лояльность пациентов благодаря повышению доверия к системе;
- автоматизация напоминаний и повышение приверженности лечению, обеспечиваемые экосистемой, позволяют прогнозировать снижение количества неявок. Проактивные ИИ-агенты, взаимодействующие с пациентом, не только могут напомнить о записи, но и оперативно перепланировать визит в случае необходимости, что ведет к более рациональному и плотному расписанию и, как следствие, к сокращению простоев дорогостоящего оборудования и врачей;
- повышение удобства и прозрачности медицинской услуги для пациента формирует предпосылки для усиления «сарафанного радио». Беспшовность взаимодействия, легкий доступ к своей медицинской информации и ощущение вовлеченности в процесс лечения, предоставляемые экосистемой, повышают общую удовлетворенность пациентов, что является ключевым фактором для их положительных рекомендаций и, соответственно, притока новых потребителей медицинских услуг;
- повышается клиническая и экономическая эффективность лечебного процесса, что достигается за счет построения целостных, персонализированных маршрутов пациента и интеграции необходимых смежных услуг.

Хотя в коммерческом сегменте это может приводить к росту индивидуальных расходов граждан, а для системы ОМС – требовать более строгого контроля обоснованности таких назначений, для самой МО данный эффект является важным экономическим обоснованием инвестиций в создание экосистемы и обеспечение преемственности помощи;

- повышается гибкость и адаптивность сервисной модели оказания помощи. В процессе лечения появляется возможность оперативно согласовывать с пациентом и включать в его маршрут необходимые дополнительные диагностические, лечебные или реабилитационные услуги, формируя тем самым максимально персонализированный и клинически обоснованный план лечения. Для МО это также означает более рациональное использование ресурсов и повышение эффективности всего лечебно-диагностического процесса.

Необходимо отметить, что предлагаемый подход не исключает полностью рисков, а только трансформирует их, кроме того, реализация всех преимуществ требует внимания в процессе разработки и внедрения. Об этом более подробно поговорим в следующих разделах.

4. Сценарий интеллектуального децентрализованного обмена медицинской информацией посредством коммуникационной платформы

Предлагаем рассмотреть гипотетический сценарий того, как технологии (включая ИИ) могут не просто автоматизировать, а усовершенствовать клинические процессы и взаимодействие. Детально опишем этот сценарий, назвав его «Интеллектуальный децентрализованный обмен медицинской информацией с поддержкой ИИ-ассистентов». Участники системы:

Врач в МО-1: Инициатор запроса.

Лечащий врач в МО-2: Источник экспертизы и контекста.

ИИ-Агент Маршрутизатор (в МО-2), знающий, где какие данные и специалисты находятся.

ИИ-Агент Анализатор (в МО-2): Локальный агент, имеющий доступ к внутренней системе МО-2.

ИИ-Агент-Помощник (в МО-1): Клинический ассистент, работающий в контексте текущего случая.

Защищенный мессенджер: встроенный в медицинскую систему инструмент контекстной коммуникации (привязанный к конкретным случаям и данным) на общей коммуникационной платформе.

Шаг 1: Инициация запроса и интеллектуальная маршрутизация

Действие: врач в МО-1, осматривая пациента, понимает, что ему необходимы детали предыдущего лечения (например, из МО-2). В своем интерфейсе ЭМК он нажимает кнопку «Запросить историю лечения» и выбирает из списка МО-2 и тип нужных данных (консультация, выписка, результаты гистологии, описание операции).

Процесс: этот запрос (с указанием идентификационных данных пациента, цели запроса и срочности) отправляется ИИ-Агенту Маршрутизатору в МО-2.

Работа ИИ-Маршрутизатора: агент в МО-2, используя реестр специалистов и их расписаний, определяет, что лечащий врач пациента из МО-2 (доктор Иванов) в настоящее время активен в системе и не помечен как «занят». Маршрутизатор принимает решение: приоритетный маршрут – прямой контакт между врачами.

Шаг 2: Прямое взаимодействие в контексте данных

Действие: врач в МО-1 получает уведомление в защищенном мессенджере: «С вами свяжется д-р Иванов из МО-2 по поводу пациента Сидорова». Одновременно в чат подгружается выписка из медицинской карты пациента в виде СЭМД или pdf-файла.

Врач из МО-2 может, при необходимости, загрузить в чат и другие документы. Также в чат подгружаются текущие данные из МО-1 в виде СЭМД или pdf-файла в зависимости от текущего уровня интероперабельности 2-х МО (новые анализы, жалобы и т.п.).

Процесс: врачи начинают обсуждение в режиме чата (консультация).

Работа ИИ-Помощника (в МО-1): в реальном времени, анализируя текст переписки («...а какая была доза препарата X?», «...нет данных о функции почек на выписке»), ИИ-агент подсвечивает в интерфейсе:

- «В полученной выписке из МО-2 доза препарата X не указана. Рекомендую уточнить».
- «Для оценки <наименования> отсутствуют данные <исследование> и уровня показателя <наименование> на момент окончания лечения в МО-2».

Шаг 3: Интеллектуальный поиск недостающих данных

Действие: врач в МО-1 соглашается с подсказкой ИИ и просит недостающие данные.

Процесс: ИИ-Анализатор «понимает» запрос, сканирует ЭМК пациента в МО-2, находит нужные исследования и лабораторные показатели, формирует из них структурированный пакет (новый СЭМД «Дополнительные сведения») и автоматически отправляет его прямо в чат между врачами.

Обогащение контекста: ИИ-Анализатор может добавить аннотацию: «Найдены 2 протокола <исследование>. Уровень <показатель> за последнюю неделю лечения был стабилен в пределах референсных значений».

Фиксация результата в ЭМК МО-1: по окончании взаимодействия в чате врач из МО-1 может зафиксировать переписку в виде документа ЭМК. Также в ЭМК пациента в МО-1 могут быть сохранены документы, предоставленные МО-2.

Шаг 4: Резервный сценарий – автономная сборка данных

Условие срабатывания: ИИ-Маршрутизатор МО-2 изначально видит, что лечащий врач из МО-2 в отпуске, и замещающий его врач перегружен.

Процесс: Маршрутизатор сразу выбирает резервный маршрут. Он перенаправляет запрос от МО-1 ИИ-Анализатору в МО-2.

Работа ИИ-Анализатора (МО-2): Агент на основе запроса («история лечения по <диагноз>») самостоятельно:

- (1) Идентифицирует все релевантные документы: выписки, протоколы исследований, анализы.
- (2) Проверяет их полноту и актуальность.
- (3) Формирует и подписывает электронной подписью системы структурированный пакет документов.
- (4) Отправляет его в МО-1.

Отложенный чат: после отправки данных, ИИ-Агент МО-2 ставит напоминание лечащему врачу (д-ру Иванову): «Для пациента Сидорова в МО-1 был предоставлен пакет документов. По вашему возвращению будет полезно связаться с коллегами для согласования дальнейшей тактики. Назначить отправку сообщения?».

Ключевые технологические и организационные основы этого сценария заключаются в следующих тезисах:

- (1) В полной мере такой обмен информацией может быть реализован при наличии общих стандартов (СЭМД или, например других реализаций CDA/FHIR): ИИ-агенты «понимают» содержимое документов, благодаря их структурированности. Но и без согласованного набора общих стандартов взаимодействие может быть организовано, благодаря общей платформе коммуникаций. Происходит плавная эволюция стандартов: от простого к сложному.
- (2) Контекстная коммуникация: мессенджер – не отдельное приложение, а часть рабочего места врача, интегрированная с ЭМК и данными.
- (3) ИИ-агенты не принимают клинических решений, а лишь маршрутизируют, находят, анализируют и предлагают. Ответственность остается за врачом.
- (4) Все действия (запросы, доступ к данным, переписка) логируются и подвергаются аудиту для соблюдения требований 152-ФЗ и врачебной тайны.
- (5) Система коммуникаций использует расписания, графики и правила приоритезации запросов, принятые в локальных МО. Также система коммуникаций должна иметь защиту от спама, чтобы не перегружать врачей.

В процессе коммуникаций происходит эволюционное развитие каждой МО экосистемы за счет использования общей платформы для коммуникаций, а также совместное развитие информационной интеграции за счет создания новых сервисов (ИИ-агентов), разрабатываемы как локально, так и совместно. Например:

- после формирования общих реестров (врачей, пациентов) «ИИ-Агент Маршрутизатор» может использоваться уже не локально в каждой МО, а превратиться в «центрального диспетчера» (концентратор информационной интеграции), знающего, где какие данные и специалисты находятся;
- от простого обмена файлами в процессе коммуникаций можно переходить к взаимодействию, основанному на стандартах и далее к семантической операбельности;

- в процессе взаимодействия формируются сетевые правила и доверие. Формируются общие реестры, правила взаимодействия, этикет, которые ложатся в основу общей политики экосистемы. МО кооперируются для совместной разработки и использования агентов.
- за счет ИИ-агентов будет осуществлен переход от безличной выгрузки документов в центральное хранилище к созданию «сети медицинского интеллекта», где данные, экспертиза и технологии объединяются для принятия наилучших решений в интересах конкретного пациента. Это следующий логический шаг после базовой и структурной интероперабельности.

5. Обсуждение и выводы

В работе сформулирована идея реализации принципов преемственности медицинской помощи в сложной адаптируемой децентрализованной и многоагентной цифровой медицинской экосистеме на основе общей коммуникационной платформы, усиленной системой взаимодействующих автономных и полуавтономных программных агентов (рисунок 1).

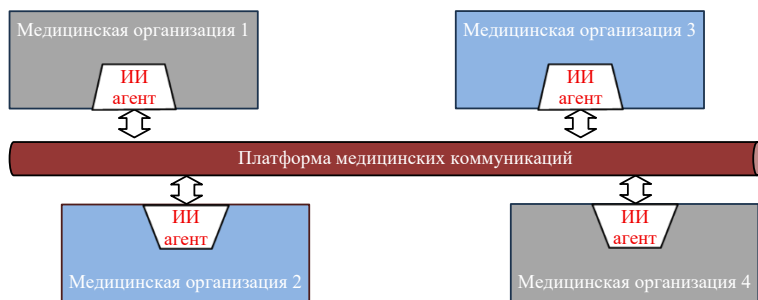


Рисунок 1. Общая коммуникационная платформа, усиленная системой ИИ-агентов

Общая платформа коммуникаций (корпоративный мессенджер экосистемы) предоставляет возможность совместного использования данных о пациентах: организовывать «контекстные чаты», как в рамках одной МИС, так и в рамках нескольких МО, транслируя внутренний контекст одной МО в другую (рисунок 2).

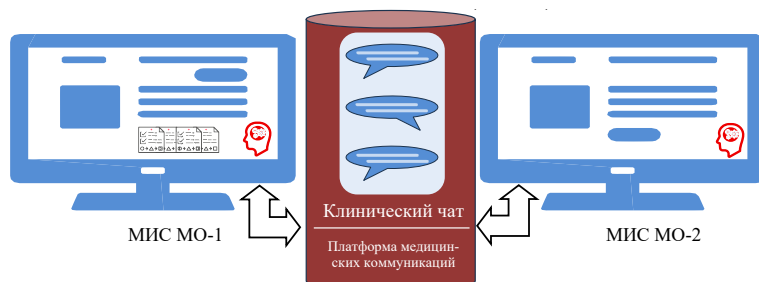


Рисунок 2. Контекстный клинический чат между врачами двух МО

Эта же платформа может использоваться в личном кабинете пациента для взаимодействия пациента с МО (рисунок 3).



Рисунок 3. Общая коммуникационная платформа для пациентов и МО

Применение ИИ-агентов способствует переходу от пассивного обмена данными к функционированию активной интеллектуальной среды. Данная среда характеризуется вовлеченностью пациентов в лечебный процесс и предоставлением врачам поддержки при принятии решений, автоматизации рутинных операций, анализе данных. Предложен эволюционный, а не революционный путь к полной информационной интеграции МО – через общую коммуникационную платформу и систему ИИ-агентов. Это прагматичная альтернатива дорогим и сложно реализуемым проектам полной семантической унификации МИС МО. Предложенный подход

представляется реалистичным и жизнеспособным за счет критически важных элементов прагматизма и эволюционности:

- (1) Эволюционный путь через общую платформу коммуникаций Это главная идея. Мы предлагаем уйти от парадигмы «все или ничего», где полная интероперабельность возможна только после внедрения всех стандартов, к эволюционному развитию:

«От простого к сложному»: система начинает работать и приносить пользу немедленно, даже если МО обмениваются неструктурированными PDF. Платформа коммуникаций создает спрос на более качественные данные, поскольку врачи в чате видят неудобства работы с PDF и начинают сами требовать СЭМД.

Стимул для развития: МО, которая первой разработает полезного ИИ-агента (например, для автоматической сборки выписок), становится «цифровым лидером». Другие МО будут вынуждены подтягиваться, чтобы не отставать и легко взаимодействовать с лидером. Это создает здоровую конкурентную среду для развития, а не административное принуждение.

- (2) Децентрализация и кооперация в разработке

Локальные ИИ-агенты vs Центральный концентратор: идея начинать с локальных агентов в МО, которые затем могут эволюционировать в центральный концентратор, решает проблему «единой точки отказа» и позволяет тестировать и совершенствовать сервисы в отдельных «песочницах» перед масштабированием.

Совместная разработка сервисов: платформа коммуникаций становится не просто инструментом обмена, а экосистемой для инноваций. МО могут совместно разрабатывать и «продавать» друг другу своих ИИ-агентов (например, МО, специализирующаяся на кардиологии, может предложить всем участникам сети своего «Кардио-ИИ-ассистента»).

- (3) Прагматичная работа с данными

Гибкость форматов (PDF + СЭМД): это признание реальности сегодняшнего дня. Любой внедренный стандарт сосуществует с унаследованными документами.

Фиксация результата в ЭМК закрывает вопрос о юридической силе взаимодействия в мессенджере.

Предложенный подход соответствует классическим уровням интероперабельности [1, 22], таблица 1.

ТАБЛИЦА 1. Уровни интероперабельности

Уровень	интероперабельности	Реализация
1.	Фундаментальный	Общая платформа коммуникаций. Обеспечивает базовую связность, безопасность и аудит. Обмен любыми файлами (PDF).
2.	Структурный	Внедрение СЭМД. ИИ-агенты начинают «понимать» документы. Автоматическая сборка пакетов данных, проверка полноты.
3.	Семантический	«Умные» ИИ-помощники. Агенты анализируют содержание данных и переписки, выявляют клинически значимые пробелы, предлагают решения. Рождается «сеть медицинского интеллекта».
4.	Организационный	Сетевые правила и доверие. Формируются общие реестры, правила взаимодействия, этикет. МО кооперируются для совместной разработки и использования агентов.

Фокус смещается с централизованного хранилища данных на децентрализованную экосистему взаимодействия:

Старая парадигма: «Загрузи все данные в хранилище, и тогда, возможно, кто-то их когда-нибудь использует».

Новая парадигма: «Создай среду, где две МО и их врачи могут быстро и эффективно решить проблему конкретного пациента, используя доступные на данный момент инструменты – от простого чата до продвинутых ИИ-агентов».

При этом предлагаемый подход не отрицает роль центральных систем (таких, как, например ЕГИСЗ). Исходя из утверждения, что реальная

интероперабельность – это способность систем обмениваться данными и использовать их, можем предположить, что идеальная архитектура для здравоохранения – гибридная (рисунок 4):

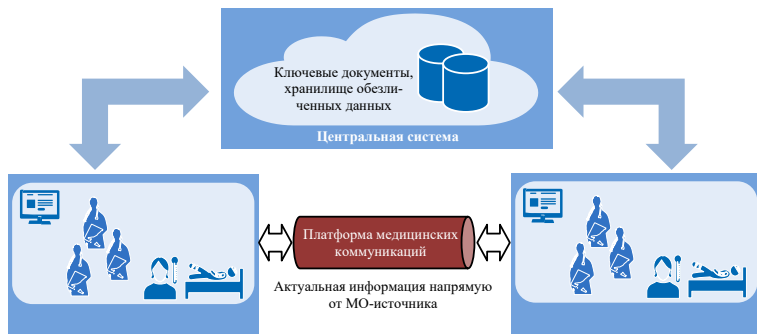


Рисунок 4. Гибридная архитектура медицинской экосистемы

- (1) Централизованное хранилище (ИЭМК) предназначено для ключевых, важных документов (выписки, заключения, сведения о вакцинации), которые должны быть всегда под рукой.
- (2) Децентрализованная система запросов для получения самой актуальной оперативной информации напрямую от МО-источников, когда ее нет в центральном хранилище или она устарела.

Таким образом, предлагаемый подход переопределяет роль централизованной системы, (например, ЕГИСЗ), которая в этой модели выполняет следующие роли:

реестра пациентов (чтобы знать, где кого искать);
сервиса авторизации и аудита (чтобы проверять права доступа и фиксировать, кто и к каким данным обращался);
хранилища для агрегированных обезличенных данных (для обучения ИИ).

Словом, задача центральной системы – стать катализатором и инфраструктурой для децентрализованной сети интероперабельности МО, предоставляя услуги реестров, доверенной аутентификации и, возможно, хостинга для цифровых сервисов и самых успешных ИИ-агентов, ставших общим достоянием.

5.1. Преимущества и недостатки централизации коммуникаций вместо централизации данных

В рамках предложенного подхода медицинская экосистема рассматривается как более открытая и слабо связанная система, фокусирующаяся на данных и генерировании новых знаний о здоровьесбережении, которая в отличие от вертикально-интегрированных корпораций позволяет участникам использовать полученные знания и данные по-своему, например, в отдельных экосистемах МО участников или их объединений. Это помогает снизить организационное сопротивление и способствует правильному целеполаганию: появлению среди стратегических целей МО или некоторого объединения МО такой цели, как создание или участие в экосистеме. Также предлагаемая модель гораздо более устойчивая, гибкая и практически полезная за счет:

- (1) Трансформации профиля рисков информационной безопасности: вместо риска масштабной утечки данных из единого центра, данные остаются у источника, и передаются лишь ограниченные, предварительно обработанные наборы по санкционированным запросам.

Это смещает фокус управления безопасностью на защиту периферийных узлов (МО-источников) и обеспечение сквозного шифрования каналов передачи данных, что является стандартной и решаемой задачей в современных системах.

- (2) Преодоления тупика централизации и скорейшего перехода к цифровым медицинским экосистемам: доминирующая на сегодня парадигма централизованных хранилищ данных для обеспечения интероперабельности неизбежно порождает «дефицит информационной логистики».

Это проявляется в неполноте, неактуальности и недостаточном качестве данных, доступных врачу в момент принятия решения, что ставит под угрозу саму цель преемственности и бесшовности медицинской помощи.

- (3) Эволюционного подхода как прагматичной альтернативы: предложенная модель децентрализованной цифровой медицинской экосистемы, ядром которой является общая коммуникационная платформа, предлагает эволюционный и прагматичный путь.

В отличие от революционных попыток достичь полной семантической интероперабельности, этот подход позволяет получить быстрый

практический результат, начиная с простого защищенного обмена сообщениями и документами (вплоть до PDF) и поэтапно двигаясь к сложным структурированным стандартам (СЭМД/CDA, FHIR) и семантической совместимости.

- (4) Прагматизма вместо идеала: платформа обеспечивает «менее сложное и быстрое решение» для обмена информацией по сравнению с полной семантической интероперабельностью, преодолевая основные барьеры на пути обмена данными.
- (5) Снижения стоимости владения: экосистемный подход с общей коммуникационной платформой значительно снижает затраты каждого участника по сравнению с попыткой интеграции всех ЭМК «снизу вверх».
- (6) Агентного ИИ как движущей силы интеллектуализации экосистемы: внедрение системы взаимодействующих автономных и полуавтономных ИИ-агентов превращает пассивную среду обмена данными в активную, интеллектуальную среду сотрудничества.

Агенты берут на себя функции интеллектуальной маршрутизации, проактивного анализа данных, автоматизации рутинных процессов и поддержки принятия решений, реализуя на практике принципы информационной логистики – доставки нужной информации в нужное время и в нужном контексте.

- (7) Формирования «сети медицинского интеллекта»: взаимодействие врачей, подкрепленное и усиленное кооперацией ИИ-агентов, ведет к формированию «сети медицинского интеллекта».

В этой сети данные, экспертиза и технологии объединяются вокруг конкретного пациента, обеспечивая не просто обмен документами, а содержательное и контекстное взаимодействие для выработки согласованной тактики лечения.

- (8) Переопределения роли центральных систем ИЭМК: В предлагаемой гибридной архитектуре роль центральных систем кардинально меняется.

Вместо единственного хранилища данных они становятся инфраструктурным катализатором сети, предоставляя критически важные сервисы: реестры (пациентов, врачей, МО), доверенную аутентификацию, аудит и хостинг для успешных сквозных цифровых сервисов и ИИ-агентов.

- (9) Практической значимости и реализуемости: предложенный подход является технически осуществимым, экономически эффективным и

клинически результативным.

Он создает здоровую конкурентную среду для цифрового развития МО, стимулируя их к созданию и совместному использованию инновационных сервисов, и способствует организационной и культурной трансформации, формируя общее информационное пространство и доверие между участниками экосистемы.

- (10) Культурной трансформации: коммуникационная платформа становится инструментом «эволюционного изменения организационной и межорганизационной культуры», постепенно формируя общее информационное пространство и доверие между участниками.

Сбалансированный анализ требует рассмотрения не только преимуществ, но и недостатков и рисков предлагаемого подхода с централизацией коммуникаций при децентрализации данных. Перечень потенциальных недостатков и рисков децентрализованной модели с коммуникационной платформой:

- (1) При отсутствии единого «источника истины», каким является центральное хранилище, возникает риск получения противоречивой информации из разных МО.

Если пациент лечился в двух местах параллельно, какая версия данных является актуальной?

Может потребоваться сложная логика разрешения конфликтов.

- (2) Чтобы получить полную картину о пациенте система должна опросить все релевантные МО.

Если одна из ключевых МО-источников в данный момент недоступна (технический сбой, интернет-проблемы), часть критически важных данных будет отсутствовать.

Централизованное хранилище, хоть и является «единой точкой отказа», зато всегда предоставляет тот объем данных, который в него загрузили.

- (3) Чтобы найти все релевантные МО может потребоваться дополнительное специализированное хранилище оперативных данных, посредством сервисов которого каждый домен экосистемы (как совокупность информационных систем, продуктов и сервисов отдельной МО или некоторого лечебно-профилактического объединения) уведомляет другие домены об изменениях в системе здоровье-сбережения пациента.

Такое хранилище потребуется и для уменьшения накладных расходов на выполнение распределенных запросов.

Без него или других аналогичных решений формирование полной медицинской карты пациента может потребовать десятков запросов к разным системам.

- (4) Уже на втором уровне эволюции (структурном) будут предъявляться высокие требования к стандартизации API и интерфейсов запросов: для эффективного децентрализованного обмена все участники экосистемы должны будут реализовать совместимые API, чтобы ИИ-агенты и системы могли делать запросы.

Это создает более сложную техническую задачу по сравнению с «выгрузкой» данных в центр по заранее известному формату.

- (5) МО, особенно коммерческие, могут воспринимать данные о пациентах и свои клинические протоколы как конкурентное преимущество.

Они могут сознательно ограничивать доступ к наиболее ценным данным или экспертизе, возвращая систему к состоянию информационной разобщенности, но уже на более технологичном уровне.

- (6) Усложнение аудита и мониторинга: отслеживание того, кто, когда и к каким данным обращался, становится распределенной задачей.

Для построения полной картины доступа необходимо агрегировать логи со всех узлов сети, что сложнее, чем вести единый журнал в централизованной системе.

- (7) В модели, где данные физически не покидают МО, могут возникать сложные вопросы ответственности.

Например, кто несет ответственность в случае утечки данных — владелец данных (МО-источник) или оператор коммуникационной платформы, через которую был осуществлен доступ?

Требуется проработанное нормативное разрешение таких коллизий.

- (8) Внедрение требует изменения устоявшихся процессов и менталитета.

Врачи и администраторы МО могут сопротивляться необходимости оперативно реагировать на внешние запросы, воспринимая их как дополнительную нагрузку, а не как часть рутинного рабочего процесса.

- (9) Если каждая МО будет развивать своих агентов автономно, может возникнуть ситуация, когда агенты из разных МО плохо взаимодействуют друг с другом.

Без сильного централизованного координационного органа или четких отраслевых стандартов на самих агентов это преимущество может превратиться в хаос.

Симбиоз общей коммуникационной платформы и многоагентной системы открывает путь к созданию устойчивой, адаптивной и ориентированной на пациента медицинской экосистемы, в которой преемственность и бесшовность помощи обеспечиваются не единовременным технологическим скачком, а через последовательную и непрерывную эволюцию.

Для скорейшего раскрытия полного потенциала интероперабельности необходимо интегрировать безопасные платформы обмена сообщениями в общую стратегию создания цифровых медицинских экосистем. Это позволит оптимизировать рабочие процессы, расширить возможности сотрудников и, в конечном счёте, повысить качество медицинской помощи.

В рамках эволюционного подхода общей коммуникационной платформе отводится роль не технического «костыля», а стратегического каркаса, обеспечивающего «быстрый старт» интероперабельности.

5.2. Возможные практические шаги

По результатам проведенного исследования, можно говорить об актуальности, работоспособности и реализуемости предложенного подхода. Например, можно обратиться к опыту информационной интеграции США, где инициатива DSM, стартовавшая в 2011 г, до настоящего времени является критически важным инструментом медицинских ИТ в США для конкретных сценариев использования. Например, DSM используется для создания региональных сетей обмена медицинской информацией в качестве одного из механизмов для отправки уведомлений или документов между участниками своей сети.

Одновременно экосистема обмена данными в США эволюционирует в сторону большей масштабируемости и гибкости за счет обмена медицинской информацией на основе запросов (англ. *Query-Based Exchange*) и API на основе стандарта FHIR (англ. *FHIR-based API*). В результате, вместо отправки документа МИС одной МО может делать запрос (с согласия пациента) и получать данные непосредственно из ЭМК другой МИС в режиме, близком к реальному времени.

Институт программных систем им. А. К. Айламазяна РАН на протяжении 30 лет является одним из лидеров в области медицинской информатики, объединяя фундаментальную науку и прикладные разработки. В составе Группы компаний «Интерин» создана и широко распространена медицинская информационная система, посредством которой решения Института успешно используются ведущими медицинскими учреждениями России.

Стратегическим развитием созданных решений видится переход от автономной автоматизации учреждений к формированию связанной кросс-функциональной цифровой среды. Ключевым элементом такой трансформации выступает внедрение единой коммуникационной платформы, обеспечивающей не только защищённый обмен данными, но и беспшовное взаимодействие между медицинскими организациями различной формы собственности и ведомственной принадлежности – государственными, ведомственными и коммерческими.

Реализация этого подхода позволит создать в России уникальный прецедент отраслевой экосистемы группы МО, где участники сохраняют технологическую и сервисную автономию, но получают возможность эффективно кооперироваться в реальном времени. В отличие от ЕГИСЗ, ориентированной преимущественно на централизованное хранение данных, и в дополнение к ней коммуникационная платформа предоставит этой экосистеме следующие возможности:

- корпоративный медицинский мессенджер на общей платформе, встраиваемый в рабочие процессы МО. Что станет если не уникальным, но одним из первых аналогичных решений на рынке медицинских ИТ;
- форматы взаимодействия МО между собой в условиях сосуществования как стандартизированных машиночитаемых форматов (СЭМД уровня 3 в форматах CDA/FHIR), так и человекочитаемых документов (PDF, изображения). Такой гибридный подход позволяет обеспечить взаимодействие даже при неполной готовности всех участников к полной семантической интероперабельности;
- возможности для каждой МО разрабатывать и подключать собственные цифровые сервисы и ИИ-агенты поверх единого централизованного набора.

Таким образом, экосистема приобретет эволюционный потенциал: МО получают инструменты для самостоятельного цифрового развития, а

экосистема в целом становится средой для распространения лучших практик и инновационных сервисов.

5.3. Перспективные направления исследований

Проведенное исследование обозначает несколько перспективных направлений для дальнейшей научно-практической работы. В области технической реализации для усиления доказательной базы требуются результаты пилотных внедрений и описание функционирующих прототипов, которые бы на практике продемонстрировали взаимодействие множества ИИ-агентов в гетерогенной ИТ-среде медицинских организаций.

Одновременно с этим вопросы безопасности и конфиденциальности в децентрализованной многоагентной архитектуре нуждаются в углубленной проработке. Необходимо разработать и апробировать устойчивые и отказоустойчивые модели управления доступом, механизмы сквозного шифрования и защиты от несанкционированных утечек данных в интеграции с технологиями блокчейн, которые соответствовали бы строгим требованиям законодательства.

В контексте федеративной архитектуры медицинской экосистемы технология блокчейна представляет значительный интерес как инструмент обеспечения доверия, аудируемости и прозрачности транзакций с данными. Её применение позволяет создавать неизменяемую и проверяемую цепочку регистрации каждого факта взаимодействия с информацией, не раскрывая при этом конфиденциальные данные пациентов. Это особенно актуально в условиях сложных многосторонних соглашений об обмене данными, где уровень доверия между участниками изначально недостаточен или не может быть обеспечен традиционными централизованными механизмами.

Отдельный практический потенциал связан с использованием смарт-контрактов для автоматизации управления доступом. Заранее заданные и исполняемые алгоритмически правила могут динамически предоставлять или отзывать права на основе predetermined условий – таких как действительное информированное согласие пациента, санкционирующая роль учреждения-источника или временные ограничения. Такой подход не только минимизирует операционные издержки и административную нагрузку, связанную с ручным управлением правами, но и обеспечивает гарантированное соответствие жёстким требованиям нормативного регулирования и медицинской этики.

Важным направлением усиления защищённости федеративной экосистемы является внедрение систем проактивного мониторинга, основанных на алгоритмах ИИ для обнаружения аномалий. Данные алгоритмы позволяют в режиме, близком к реальному времени, идентифицировать отклонения от нормативных паттернов взаимодействия с данными, сигнализирующие о потенциальных киберугрозах или нарушениях целостности информации. Например, путем непрерывного анализа потоков запросов и транзакций автономные ИИ-агенты способны автоматически обнаруживать и классифицировать подозрительную активность, включая:

- попытки несанкционированного доступа к медицинским записям;
- аномальная частота или объем запрашиваемых данных, не соответствующие клиническим сценариям;
- логические несоответствия в операциях с данными, указывающие на возможные манипуляции.

Таким образом, ИИ-агенты мониторинга могут сформировать дополнительный, проактивный эшелон защиты, существенно повышающий отказоустойчивость и общую надёжность децентрализованной сетевой инфраструктуры обмена медицинской информацией.

С другой стороны, успех внедрения упирается не только в технологические, но и в организационно-экономические аспекты. Преодоление организационных барьеров, таких как сопротивление персонала, бюрократические препоны и нежелание организаций обмениваться данными, требует отдельного исследования и разработки конкретных методик управления изменениями и проведения «культурной трансформации».

Наконец, для обоснования масштабирования подхода необходима детальная экономическая оценка. В будущих работах критически важным будет проведение сравнительного анализа затрат и расчет возврата инвестиций в сравнении с традиционными централизованными моделями, что может стать решающим аргументом для руководителей здравоохранения и инвесторов.

Предложенная модель – это не панацея, а компромисс между предсказуемостью и гибкостью. Ее успех зависит не столько от технологии, сколько от зрелости организационной культуры сотрудничества между МО, качества реализованных стандартов и способности экосистемы совместно управлять этими рисками.

Модель предлагает четкий и реализуемый план действий. Начав с развертывания общей коммуникационной платформы для быстрого получения измеримого результата, медицинское сообщество может поэтапно наращивать интеллектуальный потенциал экосистемы за счет ИИ-агентов. Этот путь минимизирует риски и инвестиции, максимизируя отдачу на каждом этапе, и в конечном счете ведет к формированию целостной, ориентированной на пациента медицинской среды, в которой преемственность медицинской помощи возникает как органичное следствие, а не как результат принудительной интеграции.
















6. Заключение

Предложенный эволюционный подход к построению цифровой медицинской экосистемы следует рассматривать в более широком контексте вызовов современного открытого информационного общества. Характерными чертами последнего являются ускорение научно-технического прогресса и обострение глобальной конкуренции, что в свою очередь транслируется и в сферу здравоохранения. Пациенты, как конечные потребители медицинских услуг, формируют растущий спрос на более качественное, персонализированное и оперативное обслуживание.


Существующие централизованные и жестко регламентированные модели организации медицинской помощи и, как следствие, архитектуры МИС, зачастую не успевают адаптироваться к этим быстро меняющимся требованиям. В этих условиях закономерным представляется поиск принципиально новых парадигм управления и организации деятельности, способных обеспечить необходимую гибкость, адаптивность и ориентацию на индивидуальные запросы.

Как мы постарались продемонстрировать в данном исследовании, одним из наиболее перспективных ответов на этот вызов являются именно многоагентные системы. Они позволяют перейти от монолитных, трудноизменяемых информационных систем к децентрализованным, самоорганизующимся средам. Таким образом, можно утверждать, что следующим логичным этапом эволюции МИС станет не просто их интеграция в экосистемы, а их фундаментальная перестройка на основе агентно-ориентированных принципов разработки, что открывает путь к поддержке подлинно интеллектуальной, адаптивной и ориентированной на человека системы здравоохранения.

Список использованных источников

- [1] Adari V. K. *The path to seamless healthcare data exchange: Analysis of two leading interoperability initiatives* // International Journal for Multidisciplinary Research.– Vol. **6**.– No. 6.– id. 32638.– 9 pp.   ↑^{156, 162, 164, 179}
- [2] Huang J., Jennings N. R., Fox J. *Agent-based approach to health care management* // Article in Applied Artificial Intelligence.– 1995.– Vol. **9**.– No. 4.– Pp. 401–420.  ↑^{157, 158}
- [3] Tan J., Wen J. H., Awad N. *Health care and services delivery systems as complex adaptive systems* // Communications of the ACM.– 2005.– Vol. **48**.– No. 5.– Pp. 36–44.  ↑^{157, 159}
- [4] Plsek P. *Redesigning health care with insights from the science of complex adaptive systems* // *Crossing the Quality Chapter: A New Health System for the 21st Century*, Appendix B, Committee on Quality of Health Care in America, Institute of Medicine, Washington: National Academy Press.– 2001.– ISBN 0-309-51193-3.– Pp. 309–322.  ↑^{157, 159}
- [5] Михеев А. Е. *Перспективы создания цифровых медицинских экосистем в России: цифровые двойники и другие технологии, проблемы и подходы* // Менеджер здравоохранения.– 2024.– № 13.– С. 4–32.   ↑^{157, 165}
- [6] Bender D., Sartipi K. *HL7 FHIR: An Agile and RESTful approach to healthcare information exchange* // *Proceedings of CBMS 2013 — 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (Porto, Portugal, 20–22 June 2013).– IEEE.– 2013.– ISBN 978-1-4799-1053-3.– Pp. 326–331.  ↑¹⁵⁸
- [7] Bae Y. S., Park Y., Lee S. M., Seo H. H., Lee H., Ko T., Lee E., Park S. M., Yoon H.-J. *Development of blockchain-based health information exchange platform using HL7 FHIR standards: Usability test* // IEEE Access.– 2022.– Vol. **10**.– Pp. 79264–79271.  ↑¹⁵⁸
- [8] Малых В. Л., Калинин А. Н., Рудецкий С. В. *Архитектура взаимодействия в медицинской экосистеме* // Программные системы: теория и приложения.– 2024.– Т. **15**.– № 2(61).– С. 475–492.   ↑¹⁵⁸
- [9] Wooldridge M., Jennings N. R. *Intelligent agents: theory and practice* // The Knowledge Engineering Review.– 1995.– Vol. **10**.– No. 2.– Pp. 115–152.  ↑^{159, 160}
- [10] Brewka G. *Artificial intelligence — a modern approach by Stuart Russell and Peter Norvig*, Prentice Hall. *Series in Artificial Intelligence*, Englewood Cliffs, NJ // The Knowledge Engineering Review.– 1996.– Vol. **11**.– No. 1.– Pp. 78–79.  ↑¹⁶⁰
- [11] Фаттахов Р. В., Фаттахов М. Р. *Агентно-ориентированный подход: новое средство получения знания* // Региональная экономика: теория и практика.– 2015.– № 10(385).– С. 47–62.   ↑¹⁶⁰

- [12] Simon H. A. *Rationality as process and as product of thought*, Richard T. Ely Lecture // American Economic Review.– 1978.– Vol. **68**.– No. 2, Papers and Proceedings of the Ninetieth Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1978).– Pp. 1–16. ↑¹⁶⁰
- [13] Torrens D. *The current state of healthcare interoperability*.– ehealth Technologies.– 2024.– 7 pp. ↑^{161, 162, 163}
- [14] Li E., Clarke J., Neves A.-L., Ashrafian H., Darzi A. *Electronic health records, interoperability, and patient safety in health systems of high-income countries: A systematic review protocol* // BMJ Open.– 2021.– Vol. **14**.– No. 7.– id. e044941.– 5 pp. ↑¹⁶²
- [15] Healthcare Information & Management Systems Society *Interoperability in healthcare*, Key Reference Document Archive of National Capital Area Chapter of HIMSS. ↑¹⁶²
- [16] Chukwu E., Obande-Ogbuinya N. E. *Evaluating the impact of healthcare interoperability on patient outcomes: A global multi-stakeholder analysis* // Texila Advanced Journal of Multidisciplinary Health Research.– 2025.– Vol. **5**.– No. 1.– 10 pp. ↑¹⁶³
- [17] Awad A., Trenfield S. J., Pollard T. D., Ong J. J., Elbadawi M., McCoubrey L. E., Goyanes A., Gaisford S., Basit A. W. *Connected healthcare: Improving patient care using digital health technologies* // Advanced Drug Delivery Reviews.– 2021.– Vol. **178**.– id. 113958. ↑¹⁶⁴
- [18] Augustin S. *Information als Wettbewerbsfaktor: Informationslogistik — Herausforderung an das Management*.– Köln–Zürich: Verl. Industrielle Organisation.– 1990.– ISBN 3-85743-949-1.– 207 pp. ↑¹⁶⁵
- [19] Gottumukkala M., El-Gayar O., Noteboom C. *Exploring the interoperability for information exchange between acute and post-acute care settings* // *Proceedings of the 58th Hawaii International Conference on System Sciences* (Hilton Waikoloa Village, Big Island, HI, January 7-10, 2025).– University of Hawaii Press.– 2025.– ISBN 978-0-9981331-8-8.– 10 pp. ↑¹⁶⁶
- [20] *The Direct project*.– Washington: Office of the National Coordinator for Health Information Technology.– 2010 (Accessed 01.10.2025).– 2 pp. ↑¹⁶⁸
- [21] Arvisais-Anhalt S., Wickenhauser K. A., Lusk K., Lehmann C. U., McCormack J. L., Feterik K. *Direct secure messaging in practice — recommendations for improvements* // Applied Clinical Informatics.– 2022.– Vol. **13**.– No. 03.– Pp. 767–773. ↑^{168, 169}
- [22] Adelusi B. S., Osamika D., Kelvin-Agwu M.-T. C., Mustapha A. Y., Forkuo A. Y., Ikhalea N. *A federated interoperability framework for seamless health data exchange using FHIR standards across multi-hospital systems* // Engineering And Technology Journal.– 2025.– Vol. **10**.– No. 5.– Pp. 4672–4695. ↑^{169, 179}

- [23] Spanakis E., Sfakianakis S., Bonomi S., Ciccotelli C., Magalini S., Sakalis V. *Emerging and established trends to support secure health information exchange* // *Frontiers in Digital Health*. – 2021. – Vol. **3**. – id. 636082. – 15 pp.  [↑](#)

Поступила в редакцию 03.11.2025;
одобрена после рецензирования 09.11.2025;
принята к публикации 17.11.2025;
опубликована онлайн 15.12.2025.

Рекомендовал к публикации

к.т.н. Я. И. Гулиев

Информация об авторах:



Дмитрий Владимирович Бельшев

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией Исследовательского центра медицинской информатики Института программных систем имени А. К. Айламазяна РАН. Научные интересы: медицинские информационные системы, образовательные технологии, теория управления



0000-0002-0437-4814

e-mail: belyshev@interin.ru



Александр Евгеньевич Михеев

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник Исследовательского центра медицинской информатики Института программных систем им. А.К. Айламазяна РАН. Научные интересы: медицинские информационные системы



<https://orcid.org/0000-0002-4777-2732>

e-mail: miheev@interin.ru

Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Декларация об отсутствии личной заинтересованности: благополучие авторов не зависит от результатов исследования.



An evolutionary approach to ensuring continuity of care in an adaptive and multi-agent digital ecosystem

Dmitriy Vladimirovich Belyshev^{1✉}, Aleksandr Eugen'yevich Mikheyev²

^{1,2} Ailamazyan Program Systems Institute of RAS, Ves'kovo, Russia

[✉] belyshev@interin.ru

Abstract. This article addresses the challenges of modern healthcare related to the "information logistics deficit" caused by fragmented care and the ineffectiveness of centralized data exchange models. An approach is formulated for considering the continuity of medical care as the horizontal and vertical integration of various medical technological processes in a complex, adaptive, decentralized, and multi-agent ecosystem based on the shared use of patient data.

Materials and Methods: Based on an analysis of international and domestic experience, as well as our own practice, this paper is based on an evolutionary approach that proposes the construction of a decentralized digital medical ecosystem. A common communication platform, ensuring basic data exchange (including unstructured documents), is considered the strategic framework for the ecosystem. A system of interacting autonomous and semi-autonomous AI agents implementing the principles of information logistics is used to intellectualize processes. The effectiveness of this approach is assessed by analyzing a hypothetical clinical scenario for interaction between medical organizations.

Results: A target concept for a medical ecosystem focused on data and generating new knowledge about health preservation is presented, including fundamental principles embodying the idea of creating and managing the ecosystem, as well as its elements—individual participating MOs—as a more open and loosely coupled system. Unlike vertically integrated corporations, this system allows participants to use acquired knowledge and data in their own ways, for example, within individual ecosystems of participating MOs or their associations. In this digital medical ecosystem architecture, a strategic role is assigned not to a repository, but to a common communication platform. A hybrid ecosystem architecture is proposed, in which centralized systems (e.g., the Unified State Health Information System) redefine their role, becoming an infrastructural catalyst for the healthcare ecosystem. They provide registry services, trusted authentication, auditing, and hosting, while relevant data and expertise remain at the source (medical organizations) and are accessible through decentralized requests. The proposed model has been proven to be technically feasible and cost-effective, enabling rapid practical results without the need for prior, complete semantic unification of all systems.













Conclusion: The proposed evolutionary approach paves the way to seamless healthcare through consistent iterations rather than a radical overhaul of processes. The symbiosis of a communication platform and a multi-agent system creates a sustainable, patient-centered environment where continuity of care is ensured through active, intelligent interaction between physicians and systems, rather than passive data exchange. (*In Russian*).













Key words and phrases: continuity of medical care, seamless healthcare, digital medical ecosystem, interoperability, communications platform, AI agents, information logistics, Unified State Health Information System (EGISZ), decentralization



2020 *Mathematics Subject Classification:* 94A05; 92C50, 93Bxx

For citation: Dmitriy V. Belyshev, Aleksandr E. Mikheyev. *An evolutionary approach to ensuring continuity of care in an adaptive and multi-agent digital ecosystem*. Program Systems: Theory and Applications, 2025, **16**:6(71), pp. 155–196. (*In Russ.*). https://psta.psir.ru/read/psta2025_6_155-196.pdf

References

- [1] V. K. Adari. “The path to seamless healthcare data exchange: Analysis of two leading interoperability initiatives”, *International Journal for Multidisciplinary Research*, **6**:6, id. 32638, 9 pp.  
- [2] J. Huang, N. R. Jennings, J. Fox. “Agent-based approach to health care management”, *Article in Applied Artificial Intelligence*, **9**:4 (1995), pp. 401–420. 
- [3] J. Tan, J. H. Wen, N. Awad. “Health care and services delivery systems as complex adaptive systems”, *Communications of the ACM*, **48**:5 (2005), pp. 36–44. 
- [4] P. Plsek. “Redesigning health care with insights from the science of complex adaptive systems”, *Crossing the Quality Chapter: A New Health System for the 21st Century*, Appendix B, Committee on Quality of Health Care in America, Institute of Medicine, National Academy Press, Washington, 2001, ISBN 0-309-51193-3, pp. 309–322. 
- [5] A. E. Mixeev. “Prospects for creating digital medical ecosystems in Russia: Digital twins and other technologies, problems, and approaches”, *Menedzher zdravooxraneniya*, 2024, no. 13, pp. 4–32 (in Russian). 
- [6] D. Bender, K. Sartipi. “HL7 FHIR: An Agile and RESTful approach to healthcare information exchange”, *Proceedings of CBMS 2013 — 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (Porto, Portugal, 20–22 June 2013), IEEE, 2013, ISBN 978-1-4799-1053-3, pp. 326–331. 
- [7] Y. S. Bae, Y. Park, S. M. Lee, H. H. Seo, H. Lee, T. Ko, E. Lee, S. M. Park, H.-J. Yoon. “Development of blockchain-based health information exchange platform using HL7 FHIR standards: Usability test”, *IEEE Access*, **10** (2022), pp. 79264–79271. 
- [8] V. L. Malyx, A. N. Kalinin, S. V. Rudeckij. “Architecture of interaction in a medical ecosystem”, *Program Systems: Theory and Applications*, **15**:2(61) (2024), pp. 475–492 (in Russian).  
- [9] M. Wooldridge, N. R. Jennings. “Intelligent agents: theory and practice”, *The Knowledge Engineering Review*, **10**:2 (1995), pp. 115–152. 
- [10] G. Brewka. “Artificial intelligence — a modern approach by Stuart Russell and Peter Norvig, Prentice Hall. Series in Artificial Intelligence, Englewood Cliffs, NJ”, *The Knowledge Engineering Review*, **11**:1 (1996), pp. 78–79. 

- [11] R. V. Fattaxov, M. R. Fattaxov. “Agent-oriented approach as a new way of obtaining knowledge”, *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2015, no. 10(385), pp. 47–62 (in Russian). 
- [12] H. A. Simon. “Rationality as process and as product of thought”, Richard T. Ely Lecture, *American Economic Review*, **68**:2, Papers and Proceedings of the Ninetieth Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1978) (1978), pp. 1–16.  
- [13] D. Torrens. *The current state of healthcare interoperability*, ehealth Technologies, 2024, 7 pp. 
- [14] E. Li, J. Clarke, A.-L. Neves, H. Ashrafiyan, A. Darzi. “Electronic health records, interoperability, and patient safety in health systems of high-income countries: A systematic review protocol”, *BMJ Open*, **14**:7 (2021), id. e044941, 5 pp. 
- [15] Healthcare Information & Management Systems Society. *Interoperability in healthcare*, Key Reference Document Archive of National Capital Area Chapter of HIMSS. 
- [16] E. Chukwu, N. E. Obande-Ogbuinya. “Evaluating the impact of healthcare interoperability on patient outcomes: A global multi-stakeholder analysis”, *Texila Advanced Journal of Multidisciplinary Health Research*, **5**:1 (2025), 10 pp.  
- [17] A. Awad, S. J. Trenfield, T. D. Pollard, J. J. Ong, M. Elbadawi, L. E. McCoubrey, A. Goyanes, S. Gaisford, A. W. Basit. “Connected healthcare: Improving patient care using digital health technologies”, *Advanced Drug Delivery Reviews*, **178** (2021), id. 113958. 
- [18] S. Augustin. *Information als Wettbewerbsfaktor: Informationslogistik — Herausforderung an das Management*, Verl. Industrielle Organisation, Köln–Zürich, 1990, ISBN 3-85743-949-1, 207 pp.
- [19] M. Gottumukkala, O. El-Gayar, C. Noteboom. “Exploring the interoperability for information exchange between acute and post-acute care settings”, *Proceedings of the 58th Hawaii International Conference on System Sciences* (Hilton Waikoloa Village, Big Island, HI, January 7-10, 2025), University of Hawaii Press, 2025, ISBN 978-0-9981331-8-8, 10 pp.  
- [20] *The Direct project*, Office of the National Coordinator for Health Information Technology, Washington, 2010 (Accessed 01.10.2025), 2 pp. 

- [21] S. Arvisais-Anhalt, K.A. Wickenhauser, K. Lusk, C.U. Lehmann, J.L. McCormack, K. Feterik. “Direct secure messaging in practice — recommendations for improvements”, *Applied Clinical Informatics*, **13**:03 (2022), pp. 767–773. 
- [22] B.S. Adelusi, D. Osamika, M.-T.C. Kelvin-Agwu, A.Y. Mustapha, A.Y. Forkuo, N. Ikhalea. “A federated interoperability framework for seamless health data exchange using FHIR standards across multi-hospital systems”, *Engineering And Technology Journal*, **10**:5 (2025), pp. 4672–4695. 
- [23] E. Spanakis, S. Sfakianakis, S. Bonomi, C. Ciccotelli, S. Magalini, V. Sakkalis. “Emerging and established trends to support secure health information exchange”, *Frontiers in Digital Health*, **3** (2021), id. 636082, 15 pp. 