

Применение телемедицинских технологий и комплексов на основе искусственного интеллекта для диагностики и лечения заболеваний

К.Ю. Мокишин

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

Аннотация: Современная телемедицина в странах мира развивается неравномерно и тому есть объективные причины. Проведен анализ современных информационно-вычислительных систем и технологий, применяемых для диагностики и лечения пациентов. В статье изложена краткая история телемедицины как одного из технических средств оказания медицинской помощи, приведены примеры использования информационных технологий в российской и мировой медицинской практике. Исследованы ключевые подходы к применению больших языковых моделей в качестве технологического ядра для помощи медицинским работникам в принятии решений в профессиональной практике. Проанализированы примеры оптимизации диагностических и лечебных процессов, решаемые с применением информационно-вычислительных систем. Автором предпринята попытка анализа последних научных достижений, посвящённых использованию цифровых технологий в сфере медицины, с целью доказательства перехода на новый уровень качества медицинских услуг через применение информационно-вычислительных комплексов.

Ключевые слова: телемедицина, информационно-вычислительные системы, цифровые технологии, большие языковые модели, медицинская диагностика, лечебные процессы, принятие решений, оптимизация процессов, качество медицинских услуг, медицинская практика, анализ технологий, история телемедицины, сравнительный анализ, цифровая трансформация, системный анализ.

Введение

В современной медицине все более популярным и повсеместным становится использование интернета вещей (The Internet of things – IoT), виртуальной реальности (Virtual reality – VR), дополненной реальности (Augmented reality – AR) и искусственного интеллекта (далее ИИ) для диагностики и лечения заболеваний различной этиологии.

История телемедицины довольно нова, но отдельные инструменты телемедицины применяются уже более 100 лет, с момента изобретения телеграфа, телефона [1]. Изобретатель телефона, Александр Белл впервые вызвал скорую помощь домой, используя свое новое изобретение – телефон. Первый документально зафиксированный факт телемедицины состоялся в 1874 году, когда хирург из Южной Австралии передал по телеграфу

инструкции по уходу за раной пациента, находящегося от него за 2000 км [2]. Днём рождения телемедицины считается 22 марта 1905 года, когда изобретатель электрокардиографии, профессор физиологии Лейденского университета Виллем Эйтховен произвёл трансляцию электрокардиограммы из своей домашней лаборатории в университетскую клинику на расстоянии 1,5 км с использованием телефонного кабеля [3].

В отечественную систему здравоохранения телемедицина была официально введена с 1 января 2018 года с даты вступления в силу Федерального закона № 242-ФЗ и Приказа Минздрава РФ № 965н от 30 ноября 2017 года, который утвердил порядок оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий. Общие правила установлены в главном нормативном акте медицинской отрасли - Законе от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». В 2017 году его дополнили определением телемедицинских технологий и статьей 36.2, которая регламентирует особенности оказания медицинской помощи онлайн, но не дает четкого определения телемедицины.

Всемирная организация здравоохранения определяет телемедицину как: «предоставление медицинских услуг там, где расстояние является критическим фактором, всеми медицинскими работниками, использующими информационные и коммуникационные технологии для обмена достоверной информацией для диагностики, лечения и профилактики заболеваний и травм, исследований и оценки, а также для непрерывного обучения медицинских работников, все в интересах улучшения здоровья людей и их сообществ» [4]. Наиболее распространенными услугами в зарубежных странах, являются телеконсультации, телеэкспертиза и дистанционный мониторинг [5].

По российскому законодательству медицинская помощь с применением телемедицинских технологий организуется и оказывается в

порядке, установленном уполномоченным федеральным органом исполнительной власти, а также в соответствии с порядками оказания медицинской помощи и с учетом стандартов медицинской помощи. На текущий момент законодательство РФ предусматривает возможность тарифообразования на медицинскую помощь, предоставляемую с использованием телемедицинских технологий [6].

Следует отметить отношение различных возрастных групп населения России к телемедицине [7]. Как средство для предварительной консультации телемедицину признают респонденты из возрастных групп: 75% из группы 19–29 лет, более 50% граждан 50 лет и старше. Молодое поколение 14–18 лет в наименьшей степени, чем остальные, хотят пользоваться возможностями телемедицины. Старшее поколение 50 и более лет не готово к использованию телемедицины при взаимодействии со средним медицинским персоналом, а среди возраста 30–49-летних таких лишь 5,8%. Предпочтение большинство респондентов отдали вариантам оказания телемедицинских услуг для выписки справок и листов нетрудоспособности, проведения телеконсультаций и телеконсилиумов, для предварительной записи на прием к врачу, получение электронных рецептов на лекарства.

Тем не менее, телемедицина занимает все более устойчивые позиции на рынке медицинских услуг в РФ, превращаясь в ключевой элемент стратегии цифровой трансформации здравоохранения. Основным фактором, способствующим ее распространению, является развитие инфраструктуры, включающей широкополосный интернет, мобильные сети и защищенные цифровые платформы, обеспечивающие безопасную передачу медицинских данных [8].

Помимо телемедицины также стоит обозначить другие цифровые технологии, обеспечивающие доступность и повышающие эффективность здравоохранения. В их роли могут выступать клинические системы,

основанные на больших языковых моделях для помощи в диагностике [9], применение искусственного интеллекта для анализа и интерпретации медицинских изображений [10], роботизированные хирургические комплексы [11], применение IoT носимых устройств для сбора показателей состояния здоровья пациента для их дальнейшего внесения в медицинскую карту и принятия решения по лечению на основе анамнеза [12].

В статье выполнен обзор применения всех обозначенных выше технологий для диагностики и лечения заболеваний как в РФ, так и во всём мире. Обозначены преимущества и возможные сложности в использовании данных технологий на практике. Осуществлён анализ возможности подтверждения гипотезы о том, что применение цифровых медицинских технологий, несмотря на все риски, смогло сделать медицину более доступной, эффективной и безопасной.

Методы исследования

Данный обзор был выполнен в соответствии с систематическим подходом к поиску и анализу научной литературы. Поиск проводился в базах данных PubMed, Web of Science, Google Scholar, eLibrary для публикаций в период с 2015 по 2025 год с использованием ключевых слов. Критерии включения в обзор охватывали рецензируемые статьи, клинические исследования и обзоры, сфокусированные на применениях телемедицины, ИИ и других цифровых технологий для диагностики и лечения пациентов в РФ и во всём мире.

Отобранные исследования были классифицированы по типу технологии (например, обработка естественного языка, компьютерное зрение), медицинской специальности (например, кардиология, радиология), решаемой клинической задаче (например, дифференциальная диагностика, мониторинг состояния пациентов, планирование терапии).

Синтез и анализ статей проводились с применением методов нарративного и сравнительного анализа. Это позволило систематизировать полученные сведения, выявить общие тенденции, оценить такие параметры, как диагностическая точность технологий, ключевые барьеры внедрения, уровни технологической готовности и нормативно-правовые аспекты их использования.

Объектом настоящего исследования является оказание медицинской помощи с использованием информационно-вычислительных технологий.

Предметом исследования послужили функциональные возможности и эффективность применения телемедицинских комплексов и систем на основе искусственного интеллекта для повышения точности диагностики и качества лечения пациентов.

Зарубежный и российский опыт применения телемедицины для диагностики пациентов

Практика оказания медицинской помощи посредством телемедицинских технологий наиболее распространена в США, Канаде, Австралии и Великобритании. Существуют интернациональные телемедицинские программы, связывающие несколько стран, например, Южно-Африканскую Республику, Мали и Швейцарию. Мировая статистика показала, что значительная доля случаев использования телемедицинских технологий приходилась в областях: психология, педиатрия, дерматология, кардиология и ортопедия [13].

Консультации пациента врачом с применением телемедицинских технологий осуществляются в целях: профилактики, сбора, анализа жалоб пациента и данных анамнеза, оценки эффективности лечебно-диагностических мероприятий, медицинского наблюдения за состоянием здоровья пациента; принятия решения о необходимости проведения очного приема. Нужно обратить внимание, что среди перечисленных целей

отсутствуют лечение и постановка диагноза, что делает телемедицину средством профилактики заболеваний, сбора и анализа жалоб пациента, наблюдения за ходом уже назначенного лечения, внесения изменений в назначенную терапию, а также для решения о продлении электронных рецепта или больничного листа, а также дистанционный мониторинг состояния здоровья.

Исследованиям особенностей организации медицинской помощи в рамках телемедицины посвящены труды многих современных российских и зарубежных ученых и отражены в научной литературе [14]. Информационные технологии (далее ИТ) в современной медицине состоят из компьютерных систем, программного обеспечения и других электронных инструментов для управления медицинской информацией и предназначены для повышения качества и эффективности здравоохранения. ИТ охватывает широкий спектр приложений от электронных медицинских карт, систем учета пациентов и телемедицины до сложных диагностических алгоритмов и интеграции больших данных для персонализированной медицины.

Перспективным направлением в применении технологий информационно-вычислительных систем в медицине является разработка портативных мобильных устройств для проведения экстренного обследования пациента вне медицинского учреждения [15]. Одним из примеров подобных устройств может служить мобильное оборудование для проведения исследований электрической активности сердца пациента, или, другими словами, электрокардиографии [16]. Такое устройство может включать в себя следующие элементы: регистратор электрокардиосигналов, управляющий микрокомпьютер, программное обеспечение в качестве интерфейса между устройством и пользователем. Во время обследования регистратор электрокардисигналов устанавливается на тело пациента, считывает данные сердцебиения и передаёт их на информационно-

вычислительное устройство, которое принимает информацию, обрабатывает её, анализирует и возвращает результат диагностики пользователю. Устройства для мобильной электрокардиографии (далее ЭКГ) подобного рода позволяют проводить диагностику в условиях свободной активности пациентов, принимать решения о наличии критических состояний без непосредственного участия медицинского специалиста и габаритного оборудования, быстрое получение подробного результата обследования на месте проведения диагностической процедуры [17]. Таким образом, специалисты по оказанию неотложной медицинской помощи не вынуждены иметь при себе тяжёлое оборудование для ЭКГ или при острой необходимости каждый раз увозить пациентов на срочное обследование в ближайшее медицинское учреждение. Более того, пациент может самостоятельно провести самодиагностику в домашних условиях и поделиться результатом обследования со своим лечащим врачом. Данные, снятые подобным мобильным оборудованием, могут быть мгновенно переданы в медицинское учреждение, где их анализ проведут специалисты.

Группа корейских инженеров и исследователей Park, H.S., Kim, K.i., Soh, J.Y. разработали систему и инфраструктуру, которые могли бы облегчить предоставление услуг телевидеоконсультаций между медицинскими центрами и пациентами [18]. Исследователями была предложена архитектура системы, поддерживающей телеконсультации через интеграционный шлюз, гарантирующий безопасное взаимодействие с медицинскими данными. Авторы описали инфраструктуру, состоящую из сетей, видеооборудования, медицинского оборудования и серверов, необходимых для проведения телеконсультаций. Также авторы провели статистический анализ удовлетворённости пациентов и врачей разработанной системой. В статье описан централизованный сбор данных с комплекса оборудования: измерителя артериального давления, глюкометра,

измерителя основных характеристик тела, измерителя холестерина, измерителя уровня стресса. Также в статье приведены схемы архитектуры, позволяющей передавать полученные данные пациентов в удаленное учреждение через интегрированный шлюз.

Иранские ученые Mohammadzadeh N. и Gholamzadeh M. [19] описали ряд программного обеспечения, предназначенного для сбора данных с телемедицинского оборудования. Также учёные приводят перечень способов взаимодействия между оборудованием и автоматизированными системами телемедицины. Исследователи пришли к выводу, несмотря на сложность предоставления телемедицинских услуг работникам морского флота в изолированных и отдаленных местах, подобные инициативы повышают качество жизни сотрудников посредством интеграции экстренной медицинской помощи и технологий телемедицины. В качестве основных проблем были выделены: нехватка медицинского персонала, отсутствие телекоммуникационных каналов, высокая стоимость оборудования, отсутствие необходимого телемедицинского оборудования и расстояние от основного медицинского центра.

Исследователи из Нигерии: профессор С.О. Alenoghena и инженер Н. Ohize [20], в своей работе описывают возможный состав телемедицинского комплекса для сбора данных о состоянии организма пациента. Авторы разделяют устройства интернета вещей в медицине на две основные категории: измеряющие внутренние (устройство для измерения кардиограммы, оксиметр, пульсометр, тонометр, градусник, устройства для проведения электроэнцефалографии, электромиографии, фотоплетизмограммы, электроокулографии) и внешние показатели (акселерометры, детекторы движения, технология пакетной передачи данных (General Packet Radio Service – GPRS), датчики влажности, датчики веса, гироскопы и пьезоэлектрические датчики). В статье предполагается, что

комплекс, состоящий из перечисленных устройств, будет в реальном времени передавать данные в некоторое хранилище, которое, в свою очередь, будет анализироваться ИИ помощником. Таким образом, можно будет проводить первичную диагностику пациентов без необходимости посещения клиники.

Исследователь из Ирана Behnam K.K. с группой коллег [21] в своей работе описали ряд проблем, которые необходимо рассмотреть при проектировании комплекса цифровой диагностики пациентов: проблемы управления электронными документами, стандартизации представления медицинской информации, унификации методологии для разработки информационных медицинских систем, проблемы защиты информации в медицинских системах, начиная от поступления данных в систему и заканчивая их уничтожением после истечения срока хранения. В качестве возможного решения последней проблемы было предложено внедрение контроля над серверами, коммутаторами и рабочими станциями, использование антивирусной защиты и брандмауэров, а также мониторинг обновлений операционных систем как необходимые меры для защиты от внешних атак [22].

Ученые из Пенсильванского университета Yue You и Xinning Gu [23] описали методологию построения системы диагностики пациентов на основе чат-бота. В качестве основных функций системы автор приводит: установление истории болезни пациента, оценку симптомов, постановку первоначального диагноза, заказ дополнительных диагностических тестов и предоставление направлений или других последующих методов лечения. Но также он выявил и слабые места в функциях описываемой системы: удобный интерфейс для описания симптомов, интерактивное общение с пациентами в части предоставления уточняющих вопросов для уточнения различных заболеваний, мониторинг симптомов в режиме реального времени, предоставление детальной информации о лекарствах.

Многие российские ученые, инженеры и программисты внесли вклад в развитие телемедицины. Например А.В. Гусев, О.Р. Артемова, А.Е. Андрейченко, И.В. Иванов [24-26] провели большую системную работу по выстраиванию нормативного регулирования и процессов контроля эффективности и безопасности программного обеспечения (далее – ПО) как и его последующей государственной регистрации, выполнив анализ процедур и результатов государственной регистрации ПО за период 2007–2024 годов. Компания Medical Visual Systems (Россия, Москва) резидент технопарка «Сколково», внедряет «умные» хирургические рабочие пространства, снабжённые системами визуализации и управления оборудованием. Свои разработки Medical Visual Systems планирует направить на развитие производственных мощностей, разработку новых модулей, маркетинг, продажи, а также на развитие бизнеса за рубежом. По данным агентства Smart Ranking, по итогам 2023 года объем рынка медицинских технологий (Medical Technology – medtech) в РФ составил 46,63 млрд рублей и это на 27% больше, чем было в 2022 году. Основным драйвером роста medtech-рынка стала телемедицина. На российском рынке в сфере телемедицины работают около 20 крупных технологических компаний.

Использование искусственного интеллекта в медицине

С развитием и распространением искусственного интеллекта технологии, основанные на принципах нейронных сетей, в том числе большие языковые модели (далее – БЯМ, Large Language Models – LLM), привлекли наибольшее внимание в качестве перспективных методов анализа и обработки данных в различных сферах (рис.1) [27]. БЯМ представляют собой нейронные сети, обученные на огромных объемах текстовых данных и способные генерировать ответы на запросы пользователей. Технология БЯМ стала в последнее время одним из самых перспективных направлений для исследований и разработок в сфере искусственного интеллекта для

обработки естественного языка (Natural Language Processing – NLP) и последующего решения широкого спектра прикладных задач. Применение БЯМ позволяет существенно повысить точность решения самых разнообразных задач обработки естественного языка, включая интерпретацию и классификацию, обобщение текстовой информации, создание чат-ботов и иных диалоговых систем, генерацию текстов по запросам и т.д. Примеры известных в мире БЯМ – GigaChat (Россия, Москва), DeepSeek-R1 (China, Hangzhou), Qwen 3 (China, Hangzhou), GPT (USA, California), Copilot (USA, Washington) и другие.

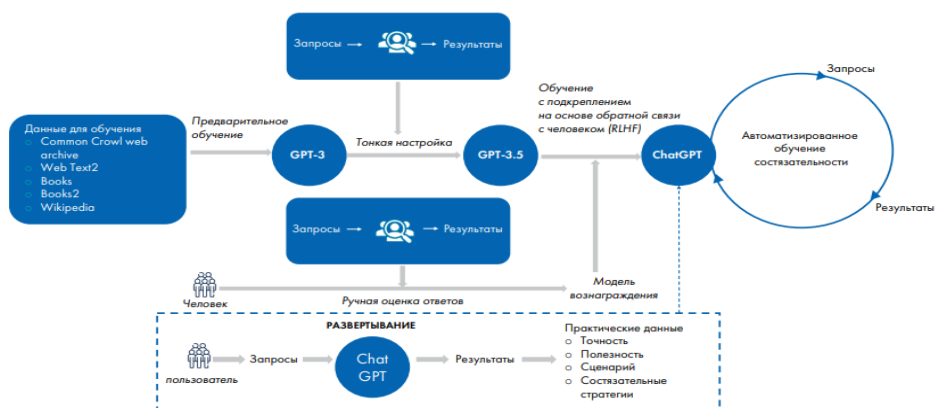


Рис.1. Алгоритм обучения больших языковых моделей для решения прикладных задач [24]

В течение последних лет искусственный интеллект лидирует в качестве одной из фундаментальных технологий, инициирующих трансформацию базовых парадигм функционирования медицины и системы здравоохранения [28]. Решение проблемы предлагается посредством внедрения соответствующей методологии в цифровой контур медицины, который начал формироваться в стране с 2011 года. Цифровой контур отечественного здравоохранения представляет собой интегрированную информационную систему, обеспечивающую сбор, хранение, обработку и обмен электронными медицинскими данными для оптимизации лечебного процесса, управления ресурсами здравоохранения и повышения качества

медицинских услуг. Она включает в себя электронные медицинские записи пациентов, системы поддержки принятия клинических решений, телемедицину, мобильное здравоохранение и другие цифровые инструменты [29]. Цель такого контура — создание единой информационной среды для взаимодействия всех участников медицинского процесса: от пациентов и врачей до страховых компаний и государственных органов здравоохранения.

Апробация использования ИИ-технологий в медицине

Одной из целей применения ИИ в медицине может быть проведение интеллектуального анализа массива данных, собранного из медицинских карт пациентов [30]. Практика использования данных может быть следующей: для начала медицинские данные после осмотра пациента загружаются в цифровую среду. Обученная модель, работающая на основе нейронных сетей, получает медицинские данные на вход и производит сравнение с ранее изученной обучающей выборкой или же, другими словами, с ранее полученными анамнезами других пациентов. В итоге модель выдаёт результаты, конечная интерпретация которых может позволить выбрать наиболее вероятные болезни из имеющегося медицинского справочника болезней. Также современные технологии анализа медицинских данных могут позволить персонализировать методику лечения заболевания [31].

Одна из подобных систем анализа медицинских данных была разработана для повышения качества диагностики хронических заболеваний. Рассматриваемая система позволила определять важные признаки болезней и различные скрытые зависимости в медицинских данных, а также проводить анализ данных слабо структурированного характера. Исходя из результатов верификации и валидации данной системы в многопрофильном педиатрическом центре, было выяснено, что она может стать важной сущностью в процессе автоматизации процесса диагностики заболеваний. В частности, исследователям удалось сделать быстрее диагностический поиск

при бронхиальной астме, юношеском артрите, спондилите, иммуноглобулин А (Immunoglobulin A – IgA) нефропатии [32]. Полученные результаты являются важными, поскольку они могут напрямую повлиять на прогноз болезни и её течение за счёт своевременного определения диагноза и назначения патогенетической терапии. Очевидно, что подобные системы интеллектуального анализа медицинских данных могут обеспечить новый уровень в деятельности по оказанию медицинской помощи пациентам с заболеваниями разного профиля.

В медицинской практике также наблюдается тенденция обработки данных из электронных медицинских карт пациентов. Специалисты в больницах обычно применяют их для сбора классифицированных данных пациентов и помещения их в защищенные цифровые хранилища, базы данных. Например, Hilal Atasoy [33] утверждает, что эти записи можно эффективно использовать в процессах принятия решений во время диагностических исследований, назначения лечения и выписки рецептов. Автор приводит ряд доказательств этого факта. Во-первых, электронные медицинские карточки пациентов являются надежным источником данных, они позволяют избежать возможных человеческих ошибок, которые могли быть допущены при заполнении. Во-вторых, цифровые записи могут объединять большие объемы важной клинической информации, полученной с различных видов медицинского оборудования. В целом, благодаря этому такая технология, как цифровые медицинские записи, может стать полезной основой для принятия решений как врачами, так и медицинскими компьютерами.

Российские ученые Блинов, Аветисян и Кох [30] изучили процесс прогнозирования клинического диагноза на основе использования искусственного интеллекта. Исследователи применили модель прогнозирования на основе двунаправленного кодировщика на основе

трансформеров (Bidirectional encoder representations from transformers – BERT) для выявления 265 заболеваний, используя тысячи цифровых клинических записей. Благодаря их работе мы имеем пример, доказывающий эффективность применения нейросетей в процессе диагностических исследований пациентов.

Исследование Бобровой Е.В., Зайцева К.С., Дюльдина Е.В. [34] направлено на разработку и сравнительный анализ трансформерных архитектур и БЯМ для автоматизации обработки русскоязычной медицинской текстовой информации, полученной при ультразвуковом исследовании (далее – УЗИ) щитовидной железы, и генерации врачебного заключения на основе их описания. Авторы приводят аргументы в пользу применения технологий ИИ, так как они могут увеличить скорость диагностики, повысить её точность, минимизировать вероятность ошибки при анализе результатов УЗИ, тем самым снизив необходимость в дополнительных медицинских вмешательствах.

В телемедицине в последнее время стали популярны нейронные сети для распознавания изображений. В роли таких систем могут выступать комплексы для определения кожных заболеваний по фотографиям, которые подвергаются интеллектуальному анализу [35]. Алгоритм работы системы фотодетекции работает следующим образом: в основе лежит математическая модель, основанная на нейронных сетях, которая производит анализ фотографий кожных покровов пациента на входе, и сравнивает их с теми видами заболеваний, которым она обучена, и возвращает результат. Таким образом, у пациента отпадает необходимость записи в клинику на первичную диагностику при возникновении подозрительных высыпаний на коже. Описанный способ фотодетекции кожных заболеваний может использоваться в качестве профилактического раз в полгода или после летнего сезона для предупреждения онкологических заболеваний кожи.

Исследователь Bercovich [36] в обзоре технологий медицинской визуализации приводит аргумент в пользу применения машинного обучения в деятельности рентгенологов по распознаванию клинических изображений для постановки диагноза. Технология машинного обучения позволяет свести к минимуму количество ошибок врачей и помочь мгновенно выявить дефекты организма человека на рентгенограммах. Другой учёный Jutzi [37] уточняет, что применение ИИ также эффективно при диагностике рака кожи дерматологов и пациентов к использованию нейронных сетей для выявления меланомы. Дерматологи и пациенты считают, что данная цифровая технология может стать функциональным инструментом врача для повышения точности диагностики, она может выявить опасные дефекты тела, которые могут быть пропущены во время осмотра врача.

Индийский исследователь Gupta [38] считает, что ИИ имеет свои преимущества и в хирургии. Определенные хирургические операции можно описать некоторым количеством алгоритмов, которым будет обучена нейронная сеть. Предполагается, что после этого роботизированный комплекс с ИИ сможет проводить операции с улучшенными результатами по сравнению с человеком-хирургом.

Другие цифровые технологии и комплексы для диагностики и лечения заболеваний

Цифровые технологии имеют свои преимущества в хирургии не только благодаря возможности использования искусственного интеллекта. Стоит отметить использование комплексов роботизированной хирургии в практике лечения пациентов. Внедрение хирургических роботизированных комплексов в медицинские учреждения и их применение в профессиональной деятельности позволяют обеспечить ассистирование врачу, проводящему операцию. Дебют робота-хирурга PUMA от General Motors (USA, Michigan) состоялся в 1985 году, при ассистировании врачу-

хирургу в процедуре биопсии из мозга [39]. В России робот-ассистированная хирургическая система впервые появилась в 2007 году. Это был робот Da Vinci Intuitive Surgical, Inc. (USA, California).

Рассматриваемые хирургические комплексы обеспечивают большую, чем у человека, амплитуду движений, отсутствие тремора рук, предоставление стереоизображения оперируемой ткани или органа в высоком разрешении, значительное снижение кровопотери, высокую точность хирургических манипуляций с телом пациента, особенно в труднодоступных местах, а также ускоренную реабилитацию пациентов [40].

В настоящее время ведутся исследования в области применения интерфейсов нейроконтролируемых устройств, которые называют нейроинтерфейсами «мозг – компьютер». В основе данной технологии лежит изучение биологической обратной связи, определяющей возможности оказания «воздействий на активность различных сенсорных входов с целью оптимальной стимуляции процессов кортикальной реорганизации» [41]. Существуют устройства, которые позволяют пациентам преобразовывать сигналы электроэнцефалограммы головного мозга, возникающие при воображении какого-либо движения в набор команд для внешнего устройства.

Перспективным использованием информационных технологий в медицинской сфере может стать применение квантового компьютера. Потенциал квантовых вычислений в медицине особенно важен, поскольку необходима обработка больших данных, анализ сложных систем и моделирование биохимических процессов. Исследователи предполагают, что квантовые датчики могут помочь диагностировать и лечить онкологические заболевания разной степени тяжести [42]. Данные приборы имеют высокий класс чувствительности и точности за счёт функционирования на основе

квантовых вычислений и в несколько раз могут превосходить по своим характеристикам классические датчики, имеющиеся на данный момент. Введённый квантовый датчик измерит температуру, соберёт данные о протекании множества биологических процессов внутри клетки и позволит определить злокачественное образование. Таким образом, квантовые технологии могут предоставить возможности идентификации онкологических заболеваний на уровне клеток у живого человека, при этом не нанося ущерб здоровью пациента и обладая высоким уровнем точности. Более того, за счёт более «тонкого» проведения измерений внутри клетки квантовые датчики могут предоставить исследователям в области медицины большой срез данных именно о работе клетки организма, а не только об органах или тканях.

Также стоит отметить другие примеры применения информационных систем в медицине. Reena M. Ghosh [43] утверждает, что 3D-моделирование органов тела обеспечивает более безопасные и точные операции. Визуализированные модели органов могут помочь хирургу более тщательно и эффективно планировать операции. Dias R. и Torkamani A. [44] приводят еще один пример применения ИТ в медицине - описание технологического протеза руки. Протез помогает пациентам управлять своими искусственными частями тела с помощью имплантированных в нервы и мышцы электродов. Люди взаимодействуют своими протезами с помощью нервно-мышечных интерфейсов. Протез можно обучить на данных генетики и геномики человека для прогнозирования заболеваний, проблем и ограничений в лечении.

На основе рассмотренных примеров можно судить о возможной эффективности, которую цифровые технологии могут обеспечить медицинской практике.

Обсуждение результатов

Современная цифровая медицина быстро развивается благодаря активному участию мирового научного сообщества в данном направлении, научно-техническому прогрессу и сложившемуся спросу. Среди направлений развития можно отметить: гибридные модели, представляющие сочетание дистанционного мониторинга с очными приёмами врача; интероперабельность, представляющая протокол обмена данными между медицинскими системами; предиктивные модели для диагностики и предупреждения вспышек заболеваний на основе ИИ; применение полуавтоматических диагностических систем для экспресс-диагностики, (использующие биометрические датчики, спектроскопию и ИИ для выявления патологий); интеграцию с национальными системами здравоохранения (например Единая государственная информационная система в сфере здравоохранения в РФ); новые стандарты безопасности (ГОСТ Р ИСО 22956-2024 для защиты медицинских IoT-устройств).

Существующая нормативная база позволяет развивать в Российской Федерации технологии телемедицины, медицинского искусственного интеллекта и других информационно-вычислительных комплексов в сфере здравоохранения. Направление телемедицинского сервиса активно развивается и сегодня в России работает более 60 специализированных компаний-разработчиков, которые создают разнообразные ИИ-системы для здравоохранения. Для поддержки и регулирования процессов создания, апробации и ответственного применения ИИ-систем параллельно развивается нормативно-правовое обеспечение, а также комплекс технических стандартов в отрасли.

В целом, в современном мире можно выделить сразу несколько областей для развития технологий в медицине [45]. В их роли могут выступать телемедицина, ИИ-инструменты для анализа медицинских

изображений, БЯМ для поддержки принятия врачебных решений, роботизированные медицинские комплексы и другие. На основе проанализированной научной литературы можно найти подтверждение гипотезы о том, что применение цифровых медицинских технологий, несмотря на все риски, делает медицину более доступной, эффективной и безопасной.

Дальнейшие исследования и разработки в данной области могут быть направлены на преодоление существующих барьеров и создание условий для устойчивого внедрения инновационных технологий в систему здравоохранения, способствуя повышению качества медицинского обслуживания населения. В качестве областей для исследования могут выступать: исследование этико-правовых аспектов и моделей регулирования цифровых медицинских систем, методы интерпретации в реальном времени алгоритмов поиска ответа с помощью БЯМ, которые были бы понятны врачу, стандартизация нормативной базы для применения телемедицины и технологий на основе ИИ в регулярной медицинской практике.

Заключение

В настоящей статье рассмотрены примеры и проблематика интеграции технологий информационно-вычислительных систем для диагностики и лечения пациентов. Обзор применения телемедицины продемонстрировал эволюцию использования информационных технологий в медицине, выделив преимущества внедрения новых подходов в российскую и мировую медицинскую практику. Исследование ключевых подходов к применению больших языковых моделей выявило их потенциал в качестве технологического ядра для поддержки принятия решений медицинскими работниками. Анализ последних научных достижений подтвердил переход на качественно новый уровень оказания медицинских услуг благодаря внедрению информационно-вычислительных комплексов.

Проведенное исследование позволяет констатировать факт, что современные информационно-вычислительные системы перестали быть вспомогательным инструментом и превратились в ключевой драйвер трансформации медицинской отрасли. Эволюция телемедицины от простых средств удаленной коммуникации до сложных интегрированных платформ свидетельствует о формировании новой парадигмы оказания медицинской помощи, ориентированной на прогнозирование, персонализацию и доступность. В ходе исследования было отмечено, что БЯМ обладают значительным потенциалом для реструктуризации работы медицинских специалистов. Выступая в роли интеллектуального ядра информационно-вычислительной системы, они способны кардинально оптимизировать такие трудоемкие процессы, как анализ медицинской документации, первичную диагностику, поддержку принятия клинических решений, что подтверждается примерами из российской и мировой практики.

Анализ последних научных достижений в цифровой медицине доказывает, что внедрение информационно-вычислительных комплексов знаменует переход на качественно новый уровень оказания медицинских услуг. Этот переход характеризуется повышением точности и скорости диагностики, снижением субъективного фактора и созданием основ для цифровой медицины, основанной на данных.

Литература

1. Anawade P. A., Sharma D., Gahane S. A comprehensive review on exploring the impact of telemedicine on healthcare accessibility. Cureus. 2024. №3(16). Pp. 1-12.
2. Владзимирский А.В. История телемедицины – первые 150 лет. Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2015. №1. С.10-16.

3. Уфимцева М.А., Николаева К.И., Жунисова Д.С. и др. История развития телемедицины. Современные информационно-коммуникационные технологии в медицине. Фарматека. 2021. №1(28). С. 34-38.

4. Драпкина О.М., Шепель Р.Н. Особенности оказания медицинской помощи с использованием телемедицинских технологий: нормативно-правовое регулирование и открытые вопросы. Профилактическая медицина. 2019. №3(22). С. 5-13.

5. Железнякова И.А., Хелисупали Т.А., Омеляновский В.В. и др. Анализ возможности применения зарубежного опыта оказания телемедицинских услуг в Российской Федерации. Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2020. №2(40). С. 26-34.

6. Шахова Т.Г., Ходакова О.В. Организация оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий: нормативное правовое регулирование в Российской Федерации. Национальное здравоохранение. 2025. №1(6). С. 5-18.

7. Медведева Е.И., Александрова О.А., Крошилин С.В. Телемедицина в современных условиях: отношение социума и вектор развития. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. №3(15). С. 200–222.

8. Калицкая В.В., Рыкалина О.А., Бабинцева А.Ю. Телемедицина: перспективы внедрения в России. Вестник Академии знаний. 2025. №2(67). С. 292-296.

9. Shool S., Adimi S., Amleshi R.S. et al. A systematic review of large language model (LLM) evaluations in clinical medicine. BMC Medical Informatics and Decision Making. 2025. №1(25). – P. 117.

10. Трошина Е.А., Захарова С.М., Цыгулева К.В. и др. Применение искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике узловых

образований щитовидной железы. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2024. №1(20). С. 15-29.

11. Marcus H.J., Ramirez P.T., Khan D.Z. et al. The IDEAL framework for surgical robotics: development, comparative evaluation and long-term monitoring. Nature medicine. 2024. №1(30). Pp. 61-75.

12. Tettey F., Parupelli S.K., Desai, S. A Review of Biomedical Devices: Classification, Regulatory Guidelines, Human Factors, Software as a Medical Device, and Cybersecurity. Biomedical Materials & Devices. 2024. №2. Pp. 316–341.

13. Иванова А.П. Телездравоохранение: технологические, правовые и этические проблемы. Социальные новации и социальные науки. ИНИОН РАН. 2021. № 1. С. 169–178.

14. Ezeamii V.C., Okobi O.E., Wambai-Sani H. et al. Revolutionizing healthcare: how telemedicine is improving patient outcomes and expanding access to care. Cureus. 2024. №7(16). P. 1-10.

15. Kumar M.S., Ganesh D. Improving telemedicine through IoT and cloud computing: opportunities and challenges. Advances in Engineering and Intelligence Systems. 2024. №3(3). Pp. 123-135.

16. Zang J., An Q., Li B. et al. A novel wearable device integrating ECG and PCG for cardiac health monitoring. Microsystems & Nanoengineering. 2025. №. 1(11). P. 7.

17. Кривоногов, Л. Ю., Папшев Д. В. Разработка системы ЭКГ-диагностики критических состояний. Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2016. №1(17). С. 282–284.

18. Park H.S., Kim K.i., Soh J.Y. et al. Development and Operation of a Video Teleconsultation System Using Integrated Medical Equipment Gateway: a National Project for Workers in Underserved Areas. Journal of Medical Systems. 2020. №44. P. 194.

19. Mohammadzadeh N., Gholamzadeh M. Requirements, Challenges, and Key Components to Improve Onboard Medical Care Using Maritime Telemedicine: Narrative Review. *International Journal of Telemedicine and Applications*. 2023. №3. P. 13.
 20. Alenoghena C.O., Ohize H.O., Adejo A.O. et al. Telemedicine: A Survey of Telecommunication Technologies, Developments, and Challenges. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2023. №12(2). P. 20.
 21. Behnam K.K., Meshgini S., Yariyeva A. et al. Big Data Security Issues and Challenges in Healthcare. *arXiv*. 2019. URL: arxiv.org/abs/1912.03848.
 22. Ali Z., Imran M., Alsulaiman M. et al. Chaos-based robust method of zero-watermarking for medical signals. *Future Generation Computer Systems*. 2018. №88(11). Pp. 400-412.
 23. You Y., Gui X. Self-Diagnosis through AI-enabled Chatbot-based Symptom Checkers: User Experiences and Design Considerations. *AMIA Annual Symposium Proceedings Archive*. 2021. Pp. 1354-1363.
 24. Андрейченко А.Е., Гусев А.В. Перспективы применения больших языковых моделей в здравоохранении. *Национальное здравоохранение*. 2023. №4(4). С. 48–55.
 25. Мурашко М.А., Ваньков В.В., Панин А.И. и др. Внедрение технологий искусственного интеллекта в здравоохранении России: итоги 2024 г. *Национальное здравоохранение*. 2025. №6(3). С. 6-19.
 26. Гусев А.В., Артемова О.Р., Андрейченко А.Е. и др. Формирование рынка программных медицинских изделий в Российской Федерации в 2007–2024 гг.: практические результаты. *Национальное здравоохранение*. 2024. №5 (3). С. 53–61.
 27. Ullah E., Parwani A., Baig M.M. et al. Challenges and barriers of using large language models (LLM) such as ChatGPT for diagnostic medicine with
-

a focus on digital pathology—a recent scoping review. Diagnostic pathology. 2024. №1(19). P. 43.

28. Mahabub S., Das B.C., Hossain M.R. Advancing healthcare transformation: AI-driven precision medicine and scalable innovations through data analytics. Edelweiss Applied Science and Technology. 2024. №6(8). Pp. 8322-8332.

29. Полянская С.Г., Телятникова Т.В. Цифровизация Российской системы здравоохранения как перспективное направление развития цифровой экономики. Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2024. №3(13). С. 113-119.

30. Blinov P., Avetisian M., Kokh V. et al. Predicting Clinical Diagnosis from Patients Electronic Health Records Using BERT-Based Neural Networks. Springer. Artificial Intelligence in Medicine. 2020. №12299. Pp. 1–12.

31. Alam M.A., Sohel A., Uddin M.M. et al. Big data and chronic disease management through patient monitoring and treatment with data analytics. Academic Journal on Artificial Intelligence, Machine Learning, Data Science and Management Information Systems. 2024. №1. Pp. 77-94.

32. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Смирнов И.В. и др. Технологии комплексного интеллектуального анализа клинических данных. Вестник РАМН. 2016. №2. – С. 169.

33. Atasoy H., Greenwood B.N., McCullough J.S. The digitization of patient care: A review of the effects of electronic health records on health care quality and utilization. Annual Review of Public Health. 2019. №40(5). Pp. 487-500.

34. Боброва Е.В., Моисеенко О.И., Дюльдин Е.В. и др. Использование методов глубокого обучения для обработки текстовых данных УЗИ щитовидной железы. International Journal of Open Information Technologies. 2024. №8(12). С. 56-65.

35. Takahashi S., Sakaguchi Y., Kouno N. et. al. Comparison of vision transformers and convolutional neural networks in medical image analysis: A systematic review. *Journal of Medical Systems*. 2024. №1(48). P. 84.
 36. Bercovich E., Javitt M.C. Medical Imaging: From Roentgen to the Digital Revolution, and Beyond. *Rambam Maimonides Medical Journal*. 2018. №9(4). Pp. 1-11.
 37. Jutzi T.B., Kriehoff-Henning E.I., Holland-Letz T. Artificial Intelligence in Skin Cancer Diagnostics: The Patients' Perspective. *Frontiers in Medicine. Dermatology*. 2020. №7. P. 2.
 38. Gupta A., Singla T., Chennatt J.J. et al. Artificial intelligence: A new tool in surgeon's hand. *Journal of education and health promotion*. 2022. Pp. 1-6.
 39. Мосоян М.С., Федоров Д.А. Современная робототехника в медицине. *Трансляционная медицина*. 2020. №7(5). С. 91-108.
 40. Карпов О.Э., Ветшев П.С., Даминов В.Д. и др. Цифровые технологии в клинической хирургии и реабилитации. *Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова*. 2017. №1. С. 4–14.
 41. Котов С.В., Исакова Е.В., Слюнькова Е.В. Применение технологии нейроинтерфейс "мозг - компьютер" + экзоскелет в составе комплексной мультимодальной стимуляции при реабилитации пациентов с инсультом. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019. №12. С. 37–42.
 42. Борисевич М.Н. О квантовом компьютере и квантовой медицине. *Вестник ВГМУ*. 2021. №2. С. 22.
 43. Ghosh R.M., Jolley M.A., Mascio C.E. et al. Clinical 3D modeling to guide pediatric cardiothoracic surgery and intervention using 3D printed anatomic models, computer aided design and virtual reality. *3D printing in medicine*. 2022. №8(1). Pp. 1-11.
-

44. Dias R., Torkamani A. Artificial intelligence in clinical and genomic diagnostics. *Genome medicine*. 2019. №11(70). Pp. 1-12.

45. Thacharodi A., Singh P., Meenatchi R. et al. Revolutionizing healthcare and medicine: The impact of modern technologies for a healthier future—A comprehensive review. *Health Care Science*. 2024. №5(3). Pp. 329-349.

References

1. Anawade P. A., Sharma D., Gahane S. *Cureus*. 2024. №3 (16). Pp. 1-12.

2. Vladzimirskiy A.V. *Rossiyskiy zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdravookhraneniya*. 2015. №1. Ss.10-16.

3. Ufimtseva M.A., Nikolaeva K.I., Zhunisova D.S. i dr. *Farmateka*. 2021. №1 (28). pp. 34-38.

4. Drapkina O.M., Shepel' R.N. *Profilakticheskaya meditsina*. 2019. №3 (22). Ss. 5-13.

5. Zheleznyakova I.A., Khelisupali T.A., Omel'yanovskiy V.V. i dr. *Meditsinskie tekhnologii. Otsenka i vybor*. 2020. №2(40). Ss. 26-34.

6. Shakhova T.G., Khodakova O.V. *Natsional'noe zdravookhranenie*. 2025. №1(6). Ss. 5-18.

7. Medvedeva E.I., Aleksandrova O.A., Kroshilin S.V. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*. 2022. №3 (15). pp. 200–222.

8. Kalitskaya V.V., Rykalina O.A., Babintseva A.Yu. *Vestnik Akademii znaniy*. 2025. №2 (67). pp. 292-296.

9. Shool S., Adimi S., Amleshi R.S. et al. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2025. №1 (25). P. 117.

10. Troshina E.A., Zakharova S.M., Tsyguleva K.V. i dr. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya*. 2024. №1 (20). pp. 15-29.

11. Marcus H.J., Ramirez P.T., Khan D.Z. et al. *Nature medicine*. 2024. №1 (30). Pp. 61-75.

12. Tettey F., Parupelli S.K., Desai, S. Biomedical Materials & Devices. 2024. №2. Pp. 316–341.
 13. Ivanova A.P. Sotsial'nye novatsii i sotsial'nye nauki. INION RAN. 2021. № 1. pp. 169–178.
 14. Ezeamii V.C., Okobi O.E., Wambai-Sani H. et al. Cureus. 2024. №7 (16). pp. 1-10.
 15. Kumar M.S., Ganesh D. Advances in Engineering and Intelligence Systems. 2024. №3 (3). Pp. 123-135.
 16. Zang J., An Q., Li B. et al. Microsystems & Nanoengineering. 2025. №. 1(11). P. 7.
 17. Krivonogov, L. Yu., Papshev D. V. Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve. 2016. №1 (17). pp. 282–284.
 18. Park H.S., Kim K.i., Soh J.Y. et al. Journal of Medical Systems. 2020. №44. P. 194.
 19. Mohammadzadeh N., Gholamzadeh M. International Journal of Telemedicine and Applications. 2023. №3. P. 13.
 20. Alenoghena C.O., Ohize H.O., Adejo A.O. et al. Journal of Sensor and Actuator Networks. 2023. №12 (2). P. 20.
 21. Behnam K.K., Meshgini S., Yariyeva A. et al. Big Data Security Issues and Challenges in Healthcare. arXiv. 2019. URL: arxiv.org/abs/1912.03848.
 22. Ali Z., Imran M., Alsulaiman M. et al. Future Generation Computer Systems. 2018. №88 (11). Pp. 400-412.
 23. You Y., Gui X. AMIA Annual Symposium Proceedings Archive. 2021. Pp. 1354-1363.
 24. Andreychenko A.E., Gusev A.V. Natsional'noe zdravookhranenie. 2023. №4 (4). pp. 48–55.
 25. Murashko M.A., Van'kov V.V., Panin A.I. i dr. Natsional'noe zdravookhranenie. 2025. №6 (3). pp. 6-19.
-

26. Gusev A.V., Artemova O.R., Andreychenko A.E. i dr. Natsional'noe zdavookhranenie. 2024. №5 (3). pp. 53–61.
 27. Ullah E., Parwani A., Baig M.M. et al. Diagnostic pathology. 2024. №1 (19). P. 43.
 28. Mahabub S., Das B.C., Hossain M.R. Edelweiss Applied Science and Technology. 2024. №6 (8). Pp. 8322-8332.
 29. Polyanskaya S.G., Telyatnikova T.V. Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologiy. 2024. №3 (13). pp. 113-119.
 30. Blinov P., Avetisian M., Kokh V. et al. Springer. Artificial Intelligence in Medicine. 2020. №12299. Pp. 1–12.
 31. Alam M.A., Sohel A., Uddin M.M. et al. Academic Journal on Artificial Intelligence, Machine Learning, Data Science and Management Information Systems. 2024. №1. Pp. 77-94.
 32. Baranov A.A., Namazova-Baranova L.S., Smirnov I.V. i dr. Vestnik RAMN. 2016. №2. p. 169.
 33. Atasoy H., Greenwood B.N., McCullough J.S. Annual Review of Public Health. 2019. №40 (5). Pp. 487-500.
 34. Bobrova E.V., Moiseenko O.I., Dyul'din E.V. i dr. International Journal of Open Information Technologies. 2024. №8 (12). pp. 56-65.
 35. Takahashi S., Sakaguchi Y., Kouno N. et. al. Journal of Medical Systems. 2024. №1 (48). P. 84.
 36. Bercovich E., Javitt M.C. Rambam Maimonides Medical Journal. 2018. №9 (4). Pp. 1-11.
 37. Jutzi T.B., Krieghoff-Henning E.I., Holland-Letz T. Frontiers in Medicine. Dermatology. 2020. №7. P. 2.
 38. Gupta A., Singla T., Chennatt J.J. et al. Journal of education and health promotion. 2022. Pp. 1-6.
-



39. Mosoyan M.S., Fedorov D.A. Translyatsionnaya meditsina. 2020. №7 (5). pp. 91-108.
40. Karpov O.E., Vetshev P.S., Daminov V.D. i dr. Khirurgiya. Zhurnal im. N. I. Pirogova. 2017. №1. pp. 4–14.
41. Kotov S.V., Isakova E.V., Slyun'kova E.V. Zhurnal nevrologii i psikhiatrii im. C.C. Korsakova. 2019. №12. pp. 37–42.
42. Borisevich M.N. Vestnik VGMU. 2021. №2. p. 22.
43. Ghosh R.M., Jolley M.A., Mascio C.E. et al. 3D printing in medicine. 2022. №8 (1). Pp. 1-11.
44. Dias R., Torkamani A. Genome medicine. 2019. №p11 (70). Pp. 1-12.
45. Thacharodi A., Singh P., Meenatchi R. et al. Health Care Science. 2024. №5 (3). Pp. 329-349.

Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.

Дата поступления: 16.11.2025

Дата публикации: 25.12.2025