



УДК 004.8

<https://doi.org/10.65249/1027-7218-2026-4-39-52>

Технологическая эволюция применения искусственного интеллекта в здравоохранении

¹А. А. Новиков, ¹К. И. Гринкевич, ¹А. А. Щербинский, ²Д. В. Шункевич

¹Республиканский научно-практический центр медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Статья посвящена рассмотрению технологического прогресса в области искусственного интеллекта (ИИ) и его влиянию на современное здравоохранение Республики Беларусь. Рассматриваются ключевые направления развития ИИ, среди которых выделяются диагностика заболеваний, разработка медикаментов, анализ медицинских изображений и поддержка принятия решений врачами.

Отмечены важные аспекты внедрения технологий ИИ, такие как комплексность, интероперабельность и человекоцентричность, подчеркивающие важность учета индивидуальности каждого пациента и соответствия международным стандартам. Подробно описаны практические проекты, реализуемые в Республике Беларусь, включая внедрение автоматизированных систем поддержки принятия врачебных решений, виртуальных операторов и сервисов голосового заполнения медицинской документации.

Отдельное внимание уделено проблемам, связанным с правовым регулированием, подготовкой кадров и техническими сложностями внедрения ИИ в практическую медицину. Предлагается набор принципов и подходов поэтапного развития технологий ИИ, предусматривающее постоянное совершенствование и гармонизацию национального и международного опыта.

Итогом является утверждение о том, что Республика Беларусь обладает всеми предпосылками для успешного внедрения инновационных технологий, превращаясь в привлекательную площадку для апробации крупных проектов, нацеленных на модернизацию здравоохранения и смежных отраслей.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, искусственный интеллект, методы и технологии искусственного интеллекта, интероперабельность, персональный ассистент пациента.

The article is devoted to the technological progress in artificial intelligence (AI) and its impact on modern healthcare in the Republic of Belarus. Key areas of AI development are discussed, including disease diagnostics, drug development, medical image analysis, and physician decision support.

Important aspects of implementing AI technologies, such as comprehensiveness, interoperability, and human-centeredness, are highlighted, emphasizing the importance of considering the individuality of each patient and compliance with international standards. Practical projects implemented in the Republic of Belarus are described in detail, including the implementation of automated decision support systems, virtual operators, and voice-based medical documentation services.

Special attention is given to issues related to legal regulation, personnel training, and the technical challenges of implementing AI in practical medicine. A set of principles and approaches for the phased development of AI technologies is proposed, providing for the continuous improvement and harmonization of national and international experience.

The final conclusion of the article is the assertion that the Republic of Belarus possesses all the prerequisites for the successful implementation of innovative technologies, becoming an attractive platform for testing large-scale projects aimed at modernizing healthcare and related industries.

Key words: intelligent systems, artificial intelligence, artificial intelligence methods and technologies, interoperability, personal patient assistant.

HEALTHCARE. 2026; 4: 39–52

TECHNOLOGICAL EVOLUTION OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HEALTHCARE

A. Novikov, K. Grinkevich, A. Shcherbinsky, D. Shunkevich

Эволюция технологий искусственного интеллекта (ТИИ) в здравоохранении представляет собой революционный процесс, значительно преобразивший диагностику, лечение и профилактику заболеваний.

Подходы к применению ТИИ в здравоохранении претерпели за последние десятилетия значительные изменения. Изначально фокус был направлен на решение узких задач, таких как обработка медицинских изображений и диагностика отдельных заболеваний. Однако с развитием технологий и увеличением объемов данных подходы стали более комплексными и ориентированными на целостное улучшение качества медицинского обслуживания.

Авторы статьи отмечают, что предлагаемые направления эволюции ТИИ и их применение в комплексной автоматизации не являются уникальными для отрасли здравоохранения, и полагают, что они могут быть применимы для других национальных отраслей и сфер деятельности.

Рассмотрим ключевые этапы развития и перспективные направления внедрения ТИИ в здравоохранение.

Современные направления и перспективы применения искусственного интеллекта в здравоохранении для решения локальных задач

С началом нового тысячелетия широкое распространение получили методы ИИ, позволившие автоматически извлекать знания из данных. Применение ИИ стало более эффективным благодаря развитию технологий компьютерного зрения, используемых для анализа медицинских изображений (например, выявление опухолей на маммограммах). Примером является система CAD (Computer-Aided Diagnosis), разработанная в конце XX в., которая помогала врачам выявлять раковые опухоли на рентгеновских снимках грудной клетки. Несмотря на прогресс, ограничения оставались значительными: качество моделей зависело от объема и качества исходных данных, а интерпретация результатов была сложной задачей.

Появление глубоких нейронных сетей открыло новую эру в применении ИИ в медицине в середине 2010-х гг., обучение им показало выдающиеся результаты в областях

диагностики, выявления рисков заболеваний и поддержки принятия решений врачами. Использование сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNNs) привело к прорыву в анализе медицинских изображений, особенно в онкологии и офтальмологии. Это повысило уровень точности диагностики ряда серьезных заболеваний, таких как диабетическая ретинопатия и меланома [1].

Искусственный интеллект стал неотъемлемой частью современной отрасли здравоохранения, привнес значительные улучшения в диагностику, лечение и управление ресурсами организаций здравоохранения. Благодаря обработке огромных массивов данных и извлечению неочевидных закономерностей ИИ позволяет специалистам организаций здравоохранения принимать решения в более короткие сроки с использованием информационной поддержки [2].

Перспективные направления применения искусственного интеллекта в здравоохранении

1. *Системы поддержки клинических решений (Clinical Decision Support Systems, CDSS).* Представляют собой мощные инструменты, интегрируемые в электронную экосистему здравоохранения. Они помогают врачам принимать обоснованные решения, основываясь на анализе данных о симптомах, результатах анализов и предыдущих заболеваниях пациента. Интеграция данных и передовых алгоритмов позволяет значительно повысить точность постановки диагноза и выбор адекватного лечения [3].

2. *Сортировка и приоритизация.* Алгоритмы ИИ активно используются для автоматической классификации обращений пациентов и расстановки приоритетов в зависимости от серьезности состояния. Это особенно актуально в экстренных ситуациях, когда каждая минута имеет значение. Такие системы улучшают доступность медицинской помощи и снижают нагрузку на врачей первой линии [4].

3. *Исследование диагностических изображений.* Организации здравоохранения регулярно сталкиваются с обработкой огромного количества изображений, полученных с помощью рентгенографии, КТ и МРТ. Алгоритмы ИИ помогают фильтровать изображения,

отделяя снимки с нормой от тех, которые требуют дальнейшего изучения специалистом.

Искусственный интеллект часто используется для предоставления второго мнения по результатам визуализации. Компьютерные модели анализируют изображения параллельно с врачами, проверяют правильность выводов и отмечают потенциальные отклонения, которые могли бы быть пропущены человеком.

Флюорографическое обследование традиционно служит основным методом массового скрининга заболеваний дыхательных путей, таких как туберкулез. Современные системы ИИ способны самостоятельно обнаруживать подозрительные очаги на изображениях, увеличивая чувствительность диагностики и снижая число ошибочных заключений.

Маммография остается одним из основных инструментов для раннего выявления рака молочной железы. Алгоритмы на основе глубоких нейронных сетей позволяют обнаружить даже небольшие изменения ткани, невидимые человеческому глазу, тем самым способствуя раннему выявлению опухоли и успешному лечению.

Благодаря технологиям компьютерного зрения стало возможным точное определение типа поражения кожи на основе фотоснимков. Пациенты могут загружать изображения своего кожного покрова, и специальные алгоритмы выдадут предположительный диагноз. Это позволит свое-временно обратиться к специалисту и начать соответствующее лечение [5].

4. Проведение хирургических операций. Искусственный интеллект активно внедряется в роботизированную хирургию. Хирургические роботы, управляемые ИИ, выполняют сверхточные движения, обеспечивают минимальное вмешательство и снижают травматизм. Врачи получают ассистенцию, которая повышает качество операций и снижает продолжительность восстановительного периода [6].

5. Терапевтические назначения и лечение отдельных заболеваний. При назначении медикаментозного лечения врачи полагаются на данные о состоянии пациента, особенностях течения болезни и индивидуальных реакциях на лекарственные средства. Модели ИИ могут

рекомендовать оптимальный режим дозирования, учитывать противопоказания и взаимодействовать с другими препаратами, выбирая наилучшую схему терапии [7].

6. Уход за пациентами. Помощь пациенту выходит далеко за пределы стен больницы. Умные устройства и сенсоры постоянно мониторят состояние пациента дома, предупреждают врача о неблагоприятных изменениях и напоминают о приеме лекарственных препаратов. Это способствует улучшению самочувствия и качеству жизни пациентов, находящихся вне стационара [8].

7. Ведение беременности. Используя накопленные знания и современные алгоритмы, системы ИИ формируют индивидуальные планы ведения беременности, учитывающие особенности женщины и плода. Они включают рекомендации по питанию, физической нагрузке и регулярным визитам к врачу, что значительно улучшает здоровье матери и ребенка [9].

8. Разработка лекарственных препаратов. Создание новых препаратов требует огромных временных затрат и финансовых вложений. Методы ИИ позволяют ускорить этот процесс, находя оптимальные комбинации веществ и предсказывая биологическую активность новых молекул. Так достигается сокращение времени на разработку новых лекарственных средств [7].

9. Приложения для здоровья. Мобильные приложения на основе ИИ становятся важными инструментами для поддержания здорового образа жизни. Пользователи могут получать персональные рекомендации по упражнениям, диетическому рациону и контролю над показателями здоровья, такими как артериальное давление и частота сердечных сокращений [10].

Таким образом, анализ перспективных направлений применения ТИИ показал, что ИИ будет способствовать повышению эффективности, точности и персонализации отрасли здравоохранения. Вместе с тем назрела необходимость перехода от современных компьютерных систем к интеллектуальным компьютерным системам нового поколения. Это обусловлено необходимостью автоматизации

все более сложных видов и областей знаний в здравоохранении, требующих создания целых комплексов интеллектуальных компьютерных систем, способных самостоятельно эволюционировать и эффективно взаимодействовать между собой.

Существующие проекты с использованием технологий искусственного интеллекта в отрасли здравоохранения Республики Беларусь

В настоящее время ГУ «Республиканский научно-практический центр медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения» (РНПЦ МТ) совместно с ООО «СберМедИИ» осуществляется апробация программного продукта «Программа поддержки принятия врачебных решений ТОП-3 диагнозов на основе данных электронной медицинской карты истории болезни» (далее – топ-3) в организациях здравоохранения.

Система реализует алгоритмы ИИ, анализирует симптомы и жалобы пациента и формирует три наиболее вероятных диагноза, что позволяет ускорить и уточнить процесс диагностики. При этом ТИИ рассматриваются исключительно как вспомогательный инструмент, а окончательное решение в постановке диагноза остается за врачом.

В рамках проведения апробации в РНПЦ МТ осуществлен анализ массива исторических деперсонализированных данных с помощью

топ-3. При формировании выборки учитывались пол и возраст пациентов. Во всех записях присутствовал подтвержденный диагноз врача, который в рамках исследования принимался за эталонное значение. Данные медицинской карты пациента, история обращений и ранние жалобы не учитывались при постановке диагноза алгоритмом ИИ.

Анализ результатов использования топ-3 показал, что общая точность лидирующей модели ИИ-1 (диагноз 1) составила 19,2 % (1924 правильных диагноза, показатель ИИ-2 (диагноз 2) составил 14,2 %, ИИ-3 (диагноз 3) – 7,8 % (рис. 1). Общая точность совместной работы всех трех моделей – 41,3 %.

Различается эффективность моделей ИИ при установлении диагноза с учетом пола пациента (рис. 2). Этот показатель отражает долю диагнозов, которые биологически допустимы для пола пациента. Так, ИИ-1 правильно определил 35 (13,7 %) из 255 случаев, ИИ-2 – 30 (11,8 %), ИИ-3 – 21 (8,2 %) случаев. При этом зафиксированы случаи постановки диагноза, абсолютно несовместимого с полом пациента (рис. 3).

Эффективность моделей заметно зависит от возрастной группы пациентов: в возрасте до 39 лет точность ИИ-1 достигает 32 %, ИИ-2 – около 20 %, ИИ-3 – 8 %. При возрасте пациентов старше 60 лет точность всех моделей снижается (рис. 4).

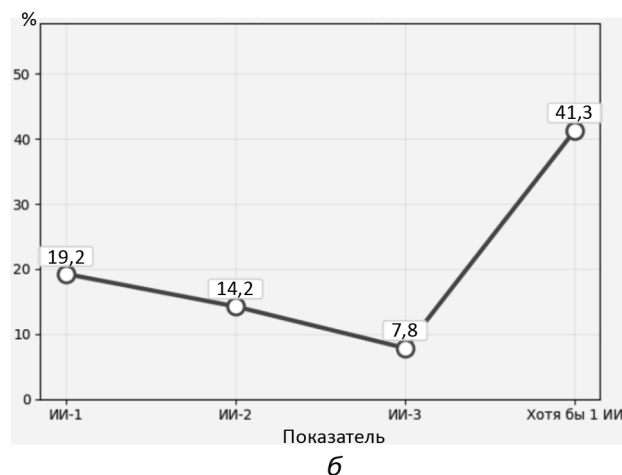
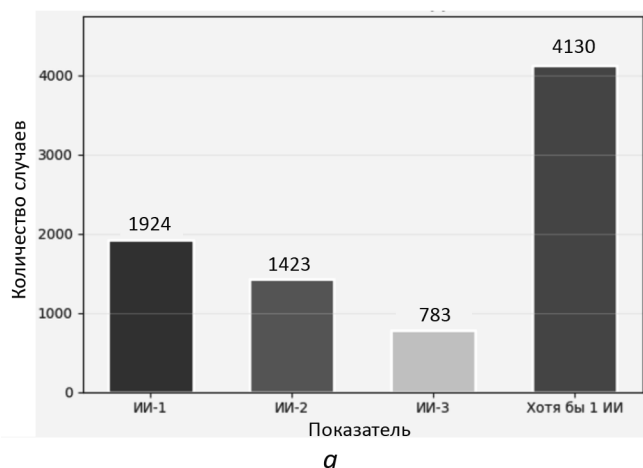


Рис. 1. Анализ результатов использования топ-3 : а – в количественном соотношении; б – в процентном соотношении

Fig. 1. Analysis of the results of using top-3: a – in quantitative terms; b – in percentage terms

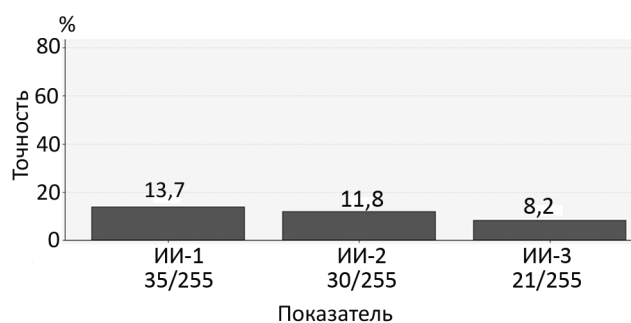


Рис. 2. Эффективность моделей искусственного интеллекта при установлении диагноза с учетом гендерных особенностей

Fig. 2. The effectiveness of artificial intelligence models in making gender-specific diagnoses

ГЕНДЕРНЫЕ НЕСООТВЕТСТВИЯ В ОТВЕТАХ ИИ

Стр.	Пол	Эталон	Модель	Диагноз ИИ	Тип ошибки
238	Ж	C53	ИИ-3	C61	Мужской диагноз у женщины
417	М	C64	ИИ-1	C50	Женский диагноз у мужчины
417	М	C64	ИИ-3	C54	Женский диагноз у мужчины
1038	Ж	C53	ИИ-3	C61	Мужской диагноз у женщины
1262	Ж	C53	ИИ-3	C61	Мужской диагноз у женщины
1279	М	C61	ИИ-3	C50	Женский диагноз у мужчины

Рис. 3. Гендерные несоответствия в топ-3

Fig. 3. Gender discrepancies in the top-3

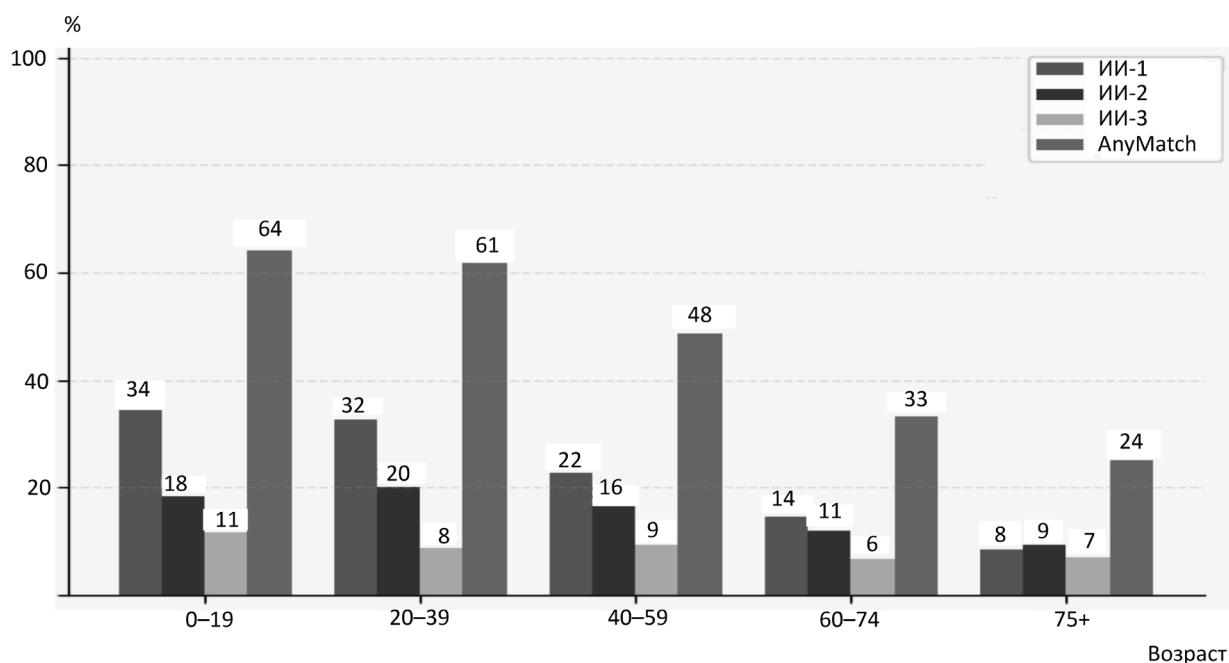


Рис. 4. Сравнение точности моделей с учетом возраста

Fig. 4. Comparison of model accuracy taking into account age

ГУ «Республиканский научно-практический центр “Кардиология”» ведется работа над созданием интеллектуальной системы оказания специализированной помощи пациентам с тяжелыми сердечно-сосудистыми патологиями.

Основными целями реализации проекта являются:

- улучшение качества оказания специализированной медицинской помощи пациентам г. Минска с кардиогенным шоком с использованием инновационных технологий в кардиохирургии, рентгенэндоваскулярной и гибридной хирургии;

- внедрение интеллектуальной системы получения средств поддержки и контроля принятия клинических решений, помогающих медицинскому персоналу быстро оценивать состояние пациентов и определять лечебную тактику;

- внедрение эталонной модели программно-аппаратного комплекса с элементами интеллектуальной системы для оптимизации работы отделений анестезиологии и реанимации Республики Беларусь.

Важно отметить, что апробация и реализация проектов с применением ТИИ обеспечивает внедрение отечественных программных решений, а также способствует обмену опытом и международному сотрудничеству в рамках Союзного государства Республики Беларусь и Российской Федерации.

В настоящее время завершается создание централизованной информационной системы здравоохранения. В рамках дальнейшего ее развития предусмотрено внедрение ТИИ, в частности, запланирована разработка системы поддержки принятия врачебных решений. Эта система обеспечит анализ медицинских изображений и лабораторных исследований, а также анализ больших данных (обработка оперативных данных, статистической информации и др.), что в том числе позволит контролировать правильность и своевременность выполнения клинических протоколов.

Централизованная информационная система здравоохранения может обеспечить возможность деперсонализации медицинских данных для их последующего использования в обучении ТИИ. На основе таких данных возможно обу-

чение моделей ИИ, в том числе в сфере анализа медицинских изображений и клинико-диагностической информации.

Массив деперсонализированных медицинских данных представляет собой стратегическую основу для дальнейшего развития отрасли. При этом на перспективу следует рассмотреть возможность коммерциализации деперсонализированных данных для дружественных стран при наличии заинтересованности совместного развития ТИИ.

Проблемные вопросы, связанные с внедрением технологий искусственного интеллекта в здравоохранение

В настоящее время внедрение ТИИ в здравоохранение носит прикладной бессистемный характер, в основном для решения узкопрофильных медицинских задач. О результатах внедрения той или иной ТИИ становится, как правило, известно в случаях явной успешности проекта, а также проведенной практической апробации самим разработчиком/поставщиком ноу-хау и его активной позиции по популяризации проекта.

Таким образом, ключевыми проблемами современной врачебной практики являются:

- недостаточное количество времени у врачей для глубокого анализа состояния каждого пациента вследствие высоких нагрузок, обусловленных большим объемом административной работы и необходимостью заполнения многочисленных форм отчетности;

- ориентация медицинской помощи преимущественно на устранение симптоматики заболеваний, а не на комплексное терапевтическое воздействие и профилактику;

- ограниченность доступной врачам информации о состоянии отдельных пациентов, препятствующая эффективному применению новейших достижений в области диагностики и лечения;

- низкий уровень персонализации подхода к каждому пациенту ввиду недостатка сведений о его индивидуальных особенностях, включая анамнез, генетические факторы и образ жизни;

- противоречивость ожиданий системы здравоохранения: с одной стороны, поощряется самостоятельная ответственность пациента

за свое здоровье, с другой – ограничиваются возможности самостоятельного обращения за консультациями специалиста даже при незначительных симптомах, что увеличивает объем неоправданных обращений и снижает качество оказываемой помощи;

- необходимость реформирования принципов организации медицинской помощи таким образом, чтобы здравоохранение функционировало превентивно, направляя внимание пациентов на регулярное поддержание здорового образа жизни и своевременное обращение за специализированной помощью;

- важность внедрения автоматизированных решений и цифровых технологий, в том числе персональных ассистентов врачей и пациентов, позволяющих разгрузить медиков от бюрократической нагрузки и повысить эффективность взаимодействия между врачом и пациентом путем автоматизации процессов и облегчения доступности необходимой информации [11].

Эти трудности требуют разработки новых подходов к обучению медицинских кадров, модернизации инфраструктуры здравоохранения и внедрению инновационных инструментов поддержки принятия клинических решений.

В свою очередь, в настоящее время остаются нерешенными верхнеуровневые организационные и правовые условия для внедрения ТИИ:

1. Несовершенство белорусского законодательства в сфере применения ТИИ в здравоохранении, в том числе касающегося правовых и этических аспектов¹.

Одной из проблем на сегодняшний день является отсутствие регулятора в сфере применения и развития ТИИ в Республике Беларусь. При этом регуляторные и экспертные функции в сфере использования ИИ в здравоохранении могут быть возложены на офис цифровизации здравоохранения (РНПЦ МТ). С целью подтверждения качества и эффективности решений, основанных на применении ТИИ, офис цифровизации здравоохранения должен осуществлять оценку и экспертизу проектов,

а также принимать участие в организации реализации соответствующих проектов.

2. Зависимость от финансирования внедряемых ТИИ в практику ввиду дороговизны их компонентов (соблюдение требований к хранению, обработке больших массивов данных, скорости их передачи и безопасности).

Также при последующем изучении успешно прошедших практическую апробацию проектов на предмет их масштабирования в пределах региона либо страны оказывалось, что вопросы интероперабельности (совместимости) их с другими информационными системами не рассматривались и не учитывались [12].

Для перехода на принципиально новый технологический уклад, в основе которого лежит комплексное и системно грамотное применение ТИИ в здравоохранении, необходимо разработать и постоянно совершенствовать комплексную программу их развития и внедрения, сочетающую стратегические и тактические (частные) направления развития.

Стратегия развития и внедрения ТИИ предполагает качественную интеграцию частных технологий, внедряемых в здравоохранение с прикладными интеллектуальными компьютерными системами соответствующих классов. Поэтому изначальная ориентация на совместимость и интероперабельность всех создаваемых в здравоохранении интеллектуальных компьютерных систем (в том числе метасистем) существенно повышает темпы общей технологической эволюции.

Обязательным элементом при использовании ИИ является сохранение ключевой роли человека в принятии решений. Перед реализацией проектов с использованием ИИ должна формироваться модель угроз и рисков, которая позволит определить методы и порядок действий в аварийных ситуациях [13].

Предлагаемые принципы и подходы к внедрению технологий искусственного интеллекта в здравоохранение

Комплексность. Принцип комплексности при внедрении ТИИ в здравоохранение Республики Беларусь предполагает интегрированный

¹О модельном законе «О технологиях искусственного интеллекта»: постановление : утв. Межпарламент. Советом Ассамблеи государств – участников СНГ от 18 апреля 2025 г. № 58-8. – URL: https://uiip.by/doc/pdf/model_law.pdf (дата обращения: 26.11.2025).

подход, охватывающий различные уровни системы здравоохранения, включая диагностику, лечение, профилактику заболеваний, управление ресурсами и повышение качества медицинских услуг. Этот принцип основывается на следующем.

1. *Диагностика.* Использование методов ИИ позволяет автоматизировать процесс диагностики болезней, снижая вероятность ошибок и повышая точность выявления патологий. Например, компьютерное зрение применяется для анализа рентгенограмм, МРТ и КТ-изображений, помогая врачам быстрее выявлять онкологические заболевания, патологии сердечно-сосудистой системы и другие серьезные болезни [14].

2. *Лечение.* Методы ИИ помогают оптимизировать выбор методов лечения, учитывая индивидуальные особенности пациента. Персонализированная медицина становится возможной благодаря анализу больших объемов данных о пациенте, включая генетическую информацию, историю болезни и реакции организма на предыдущие методы терапии [7].

3. *Профилактика.* Предиктивные модели позволяют предсказывать риски развития хронических заболеваний и предлагать меры профилактики. Это помогает снизить заболеваемость и нагрузку на систему здравоохранения, направляя усилия врачей на предотвращение болезней [15].

4. *Управление ресурсами.* Оптимизация распределения ресурсов – важный аспект внедрения ИИ. Анализируя имеющиеся данные, система способна прогнозировать потребность в медицинском персонале, оборудовании и лекарственных препаратах, обеспечивая рациональное использование ограниченных ресурсов [16].

5. *Повышение квалификации медицинского персонала.* Технологии ИИ способствуют повышению уровня подготовки врачей путем создания виртуальных симуляторов операций, диагностических процессов и тренинговых платформ. Врачи получают доступ к современным методикам обучения, что повышает качество оказываемой медицинской помощи [17].

Таким образом, внедрение ТИИ в белорусскую медицину необходимо осуществлять

согласно принципу комплексности, охватывая весь спектр медицинских услуг и улучшая эффективность работы всей системы здравоохранения.

Интероперабельность (совместимость). Принцип интероперабельности при внедрении ТИИ в здравоохранение Республики Беларусь направлен на обеспечение взаимодействия и совместимости различных информационных систем и баз данных внутри отрасли здравоохранения. Интероперабельность важна для эффективного обмена информацией между организациями, специалистами и системами, позволяет создавать целостную картину состояния здоровья пациента и обеспечивать своевременное принятие правильных решений в диагностике и лечении.

Рассмотрим ключевые элементы принципа интероперабельности.

1. *Единообразие форматов данных:* необходимо стандартизировать форматы хранения и передачи медицинских данных, чтобы обеспечить возможность чтения и обработки информации различными системами и приложениями.

2. *Безопасность и конфиденциальность:* обмен данными должен осуществляться в защищенной среде, гарантирующей сохранность персональных данных пациентов и соблюдение требований законодательства Республики Беларусь.

3. *Поддержка интеграции систем:* важным условием реализации принципа интероперабельности является поддержка интеграционных возможностей современных информационных систем, обеспечивающих обмен данными между организациями здравоохранения различного типа (поликлиники, больницы, лаборатории).

4. *Использование открытых стандартов:* применение общепринятых международных стандартов (например, HL7, FHIR) позволяет создать инфраструктуру, способствующую эффективной работе различных поставщиков оборудования и программного обеспечения [18].

5. *Автоматизированные решения:* современные ТИИ способны автоматически анализировать и обрабатывать медицинские

данные, создавая условия для улучшения точности диагностики и повышения эффективности оказания медицинских услуг.

6. Взаимопонимание (семантическая совместимость): системы обладают взаимопониманием, если у них не просто совместимы форматы данных, а совместимы системы понятий, другими словами, онтологии [19].

7. Договороспособность: рассматривается в двух аспектах:

- способность к установлению взаимопонимания, что требует наличия базовой семантической совместимости (базового ядра, базовой системы понятий);

- способность при коллективном решении задач распределить обязанности и координировать свои действия при возникновении заранее не учтенных обстоятельств (как внешних, так и внутренних).

Наличие договороспособности дает системе возможность становиться агентом новых априори непредсказуемых сообществ и эффективно работать в их составе при решении различных задач.

Таким образом, принцип интероперабельности обеспечивает совместимость и согласованность информационных потоков в сфере здравоохранения, поддерживая развитие высокотехнологичных сервисов и повышая уровень медицинской помощи населению Беларуси.

Человекоцентричность (человекоцентризм). Принцип человекоцентричности в развитии ТИИ в здравоохранении означает, что при проектировании и внедрении новых технологий приоритетным становится удовлетворение потребностей и улучшение качества жизни конкретного пациента. Цель состоит в создании комфортных условий для пациента и обеспечении максимальной пользы от применения инновационных решений в области здравоохранения [20].

Человекоцентричность подразумевает доступность медицинских записей для пациентов, возможность понимания и интерпретации результатов обследования и рекомендаций врача. Электронные медицинские записи и приложения, управляемые ИИ, повышают информированность пациентов и их вовлеченность в процесс лечения.

Таким образом, применение принципа человекоцентричности при разработке и внедрении ТИИ в здравоохранение Республики Беларусь направлено на достижение наилучших результатов для каждого отдельного пациента. Это способствует формированию доверительных отношений между пациентом и врачом, повышению удовлетворенности качеством медицинской помощи и улучшению показателей здоровья населения.

Подходы к внедрению технологий искусственного интеллекта в здравоохранение

Переход на интеллектуальные компьютерные системы нового поколения [21; 22] при использовании ТИИ в здравоохранении Республики Беларусь представляет собой важный этап модернизации отрасли, позволяющий значительно повысить эффективность и качество предоставляемых медицинских услуг. Такие системы объединяют передовые достижения науки и техники, направленные на решение сложных задач диагностики, лечения и управления ресурсами здравоохранения.

Внедрение самообучающихся персональных ассистентов пациентов. При использовании ТИИ в здравоохранении Республики Беларусь является перспективным направлением, которое способно радикально изменить подходы к организации медицинской помощи и улучшению качества жизни пациентов. Ассистенты представляют собой компьютерные системы, способные взаимодействовать с человеком, помогать ему управлять своим здоровьем и поддерживать коммуникацию с медицинским персоналом.

Приведем возможности и преимущества внедрения персонального ассистента.

1. Предоставление индивидуальной поддержки пациенту. Ассистент собирает и обрабатывает персональные данные пациента, предлагает индивидуальный подход к профилактике и управлению хроническими заболеваниями. Например, программа может давать советы по диете, физическим нагрузкам и режиму отдыха, исходя из специфики конкретного пациента.

2. Мониторинг состояния здоровья. Самообучающиеся ассистенты могут собирать данные о здоровье пациента посредством

подключаемых устройств (таких, как фитнес-трекеры, глюкометры, кардиографы), проводить предварительный анализ симптомов и уведомлять лечащего врача о возможных отклонениях.

3. *Помощь в принятии решений по лечению.* Пользователь получает подсказки и рекомендации касательно дальнейших шагов, направленных на поддержание оптимального самочувствия. Программа анализирует симптомы и историю болезни, оценивая возможные варианты лечения и сообщая врачу информацию для последующего рассмотрения.

4. *Улучшение коммуникации между пациентом и врачом.* Используя естественный язык, ассистент позволяет удобно общаться с пациентом, отвечать на вопросы и передавать необходимую медицинскую информацию в понятной форме. Врач может воспользоваться рекомендациями ассистента для подбора индивидуального плана лечения.

5. *Минимизация риска возникновения осложнений.* Регулярный мониторинг состояния пациента и предупреждение о рисках позволяет предотвратить осложнения и ухудшение состояния здоровья, особенно у лиц с хроническими заболеваниями.

6. *Снижение нагрузки на медицинский персонал.* Благодаря автоматизации ряда стандартных функций врачи смогут уделять больше внимания индивидуальным случаям, следовательно, улучшат качество обслуживания пациентов.

Также стоит выделить достоинства (возможности) персонального ассистента с точки зрения пользователя-пациента:

- обучение (как системы, так и пользователя);
- адаптация (ассистент может помнить не просто историю лечения, но и различные особенности пациента);
- исключение необходимости для пользователя знать детали технического процесса при взаимодействии со здравоохранительной средой (запись к врачу и т. д.) – это становится возможным благодаря интероперабельности разных подсистем;
- пользователь может знать все детали оказываемой ему медицинской помощи, при

этом избавлен от необходимости разбираться в деталях.

Таким образом, внедрение самообучающихся персональных ассистентов пациентов в здравоохранение Республики Беларусь обеспечит существенное повышение качества медицинской помощи, сделает ее доступной и удобной для широких слоев населения, повысит общую продолжительность и качество жизни граждан.

Разработка семантически совместимых формальных моделей решения различных задач в области здравоохранения. При внедрении ТИИ в здравоохранение Республики Беларусь необходимы формальные модели, которые помогут структурировать процессы, упростят разработку и реализацию соответствующих технологических решений, обеспечат надежность и прозрачность их функционирования.

Рассмотрим примерные типы формальных моделей, которые используются при таком внедрении.

1. *Модель диагностического анализа.* Это формализованная структура, предназначенная для представления знаний о заболеваниях и методах их диагностики. Модель включает правила и подходы, определяющие порядок и выбор диагноза и оптимальной терапевтической схемы.

2. *Модель прогнозирования состояния пациентов.* Позволяет строить прогнозы относительно будущего состояния пациента на основе истории болезни, динамических наблюдений и статистически значимых факторов риска.

3. *Модель оптимизации назначения препаратов.* Используется для автоматического подбора оптимальных схем медикаментозного лечения с учетом фармакокинетических характеристик препарата, возраста пациента, сопутствующих заболеваний и аллергических реакций.

Пример формальной модели – алгоритм многошагового дерева решений, применимый для выработки последовательных рекомендаций по выбору препаратов, их дозировке и продолжительности приема.

4. *Модель анализа и обработки медицинских изображений.* Применяется для автома-

тической классификации медицинских изображений (рентгенограммы, снимки МРТ, УЗИ и др.) и выделения характерных паттернов, используемых для постановки диагноза.

Пример формальной модели – конволюционная нейронная сеть (CNN) для анализа изображений тканей и органов, обнаружения новообразований и дифференциальной диагностики заболеваний [23].

5. Модель роботизированных хирургических систем. Определяет структуру алгоритма планирования операции, управления движениями робота-хирурга и принятия решений на основе анализа поступающей информации о ходе хирургического вмешательства.

Пример формальной модели – фильтр Калмана, применяемый для точного отслеживания положения инструмента хирурга и прогнозирования динамики движения операционного поля.

6. Модель интеллектуальных систем консультирования врачей и пациентов. Используется для систематизации накопленных профессиональных знаний и опыта врачей, представляет их в виде формального описания предметной области.

Пример формальной модели – семантическая сеть, отражающая отношения между симптомами, признаками и возможными заболеваниями, основанная на результатах многочисленных клинических случаев и научных публикаций.

7. Модель пациентов. Обеспечивает возможность адаптации к особенностям и потребностям конкретного пациента. Включает информацию о истории болезни, медицинских показателях, противопоказаниях и т. д.

8. Модель человеко-машинного сообщества интеллектуальных информационных систем, обеспечивающих эффективное взаимодействие пациентов и медицинских работников. Целью такого сообщества является обеспечение эффективного взаимодействия пациентов и медицинских работников при помощи персональных ассистентов пациентов и персональных ассистентов медицинских работников, а также медицинских работников между собой, становясь центрами компетенций в соответствующих областях здравоохранения.

Формальные модели являются основой для успешного внедрения ТИИ в здравоохранение Республики Беларусь. Они облегчают понимание и обработку данных, улучшают точность диагностики и снижают риски неправильных решений. Выбор конкретной модели зависит от поставленных задач и специфики рассматриваемого клинического направления.

Система управления автоматизацией в сфере здравоохранения

Комплексная автоматизация сферы здравоохранения предполагает переход к интеллектуальному человеко-машинному сообществу, которое представляет собой многоуровневую структуру, включающую разные уровни участников процесса, организационные подразделения и функциональные компоненты. Такая структура обеспечивает интеграцию всех элементов системы здравоохранения и позволяет эффективно решать широкий спектр задач, начиная от первичной диагностики и заканчивая реабилитационным лечением.

Система комплексного управления включает следующие группы субъектов.

1. Субъекты первичной медицинской помощи. Задача первичной медицинской помощи заключается в проведении предварительной диагностики, определении характера патологии и принятии решения о направлении пациента на специализированные обследования либо консультации узких специалистов.

2. Субъекты специализированной медицинской помощи:

- поликлинические отделения специализированных служб (кардиология, неврология, эндокринология);

- больницы различного профиля (хирургии, терапии, акушерства и гинекологии).

Специализированная медицинская помощь обеспечивает углубленную диагностику, назначение необходимого объема лечебных мероприятий и проведение операций различной степени сложности.

3. Республиканские научно-практические центры:

- отделения интенсивной терапии;
- клиническое сопровождение тяжелых пациентов.

Центры выполняют функции экстренной и плановой стационарной помощи по различным профилям, осуществляют динамическое наблюдение, контроль над состоянием тяжелобольных пациентов, а также оказывают высокотехнологичную медицинскую помощь.

4. Реабилитационное направление:

- реабилитационные организации (отделения, кабинеты);
- физиотерапевтические комплексы.

Данное звено предназначено для восстановления утраченных функций организма, реабилитации пациентов после травм, хирургических вмешательств и длительных болезней.

5. Фармацевтические и вспомогательные службы:

- медицинские аптеки;
- исследовательские и инструментальные лаборатории;
- фармакология.

Фармацевтические службы обеспечивают поставку препаратов и медикаментов, необходимых для осуществления лечебного процесса.

Важнейшими компонентами такого человеко-машинного сообщества являются персональные ассистенты всех его участников, включая медицинских работников и пациентов.

Заключение

Искусственный интеллект переживает стремительное развитие, прочно закрепляясь в сфере здравоохранения Республики Беларусь. Его потенциал проявляется в широком

спектре задач: от точной диагностики заболеваний и анализа медицинских изображений до создания новых фармацевтических препаратов и поддержки врачей в принятии решений.

Однако особое внимание должно быть уделено ключевым аспектам внедрения: обеспечению комплексного подхода, достижению совместимости информационных систем, сохранению главенства человеческого фактора и развитию самообучающихся цифровых ассистентов для пациентов.

Несмотря на ряд препятствий (несовершенство правового регулирования, нехватка высококвалифицированных специалистов, высокие требования к качественным данным для обучения моделей), ТИИ демонстрируют значительный вклад в улучшение системы здравоохранения. Их внедрение существенно повысит качество медицинских услуг, снизит заболеваемость и улучшит здоровье населения Беларуси.

Следовательно, дальнейшее развитие ТИИ в республике должно подразумевать создание прочной юридической базы, организацию качественной подготовки кадров и внедрение последних достижений науки и техники. Беларусь обладает всеми необходимыми условиями для успешной реализации амбициозных инициатив, является привлекательной территорией для экспериментов и реализации глобальных проектов по автоматизации ключевых секторов экономики, включая сферу здравоохранения.

Литература

1. Ламоткин, А. И. Сверточные нейронные сети и визуальные трансформеры в диагностике опухолей кожи: сравнительный анализ эффективности моделей искусственного интеллекта в программах компьютерного зрения / А. И. Ламоткин, Д. И. Коробельников // *Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. – 2025. – № 3. – С. 365–375.
2. Хель, И. Watson: искусственный интеллект IBM пять лет спустя / И. Хель // *hi-news.ru*. – URL: <https://hi-news.ru/medicina/watson-iskusstvennyj-intellekt-ibm-pyat-let-spustya.html> (дата обращения: 17.12.2025).
3. Михеев, А. Е. Подход к внедрению систем поддержки принятия врачебных решений на принципах сервисориентированной архитектуры с использованием сервисов цифровой медицинской экосистемы / А. Е. Михеев // *Менеджер здравоохранения*. – 2024. – Тематический спецвып. – С. 101–118. – doi: 10.21045/1811-0185-2024-S-101-118.
4. Использование сервисов на основе технологии искусственного интеллекта при проведении описании рентгенологических снимков при для определения категоричности по надежности электроснабжения потребителей: метод. рекомендации / сост.: С. П. Морозов, А. В. Владзимирский, Н. В. Ледихова и др. – М. : Департамент здравоохранения, 2020. – 46 с. – URL: <https://niioz.ru/upload/iblock/26c/26c3d74140304ff1c536b52cf70b70d5.pdf> (дата обращения: 19.12.2025)

5. *Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks* / A. Esteva, B. Kuprel, R. Novoa [et al.] // *Nature*. – 2017. – Vol. 42. – P. 115–118.
6. Алубин, С. В. Применение технологии искусственного интеллекта в роботизированных системах хирургии / С. В. Алубин // *Вестник науки*. – 2025. – № 2. – С. 564–570.
7. Фоминов, С. Д. Применение искусственного интеллекта в медицине: от диагностики до терапии / С. Д. Фоминов // *Вестник науки*. – 2025. – № 6. – С. 935–944.
8. Переломова, П. А. Оценка эффективности и перспектив развития умных браслетов, часов и сенсоров / П. А. Переломова // *Вестник науки*. – 2025. – № 3. – С. 544–549.
9. Язмуратова, С. Искусственный интеллект для поддержки принятия клинических решений в акушерстве / С. Язмуратова // *Вестник науки*. – 2025. – № 10. – С. 862–867.
10. Овсянников, А. В. Искусственный интеллект в мобильных приложениях: возможности, вызовы и перспективы / А. В. Овсянников, В. В. Овсянников // *Auditorium. Электронный научный журнал курского государственного университета*. – 2025. – № 1. – URL: https://api-mag.kursksu.ru/api/v1/get_pdf/5703/ (дата обращения: 26.11.2025).
11. Малых, В. Л. Системы поддержки принятия решений в медицине / В. Л. Малых // *Программные системы: теория и приложения*. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 155–184.
12. Малых, В. Л. Архитектура взаимодействия в медицинской экосистеме / В. Л. Малых, А. Н. Калинин, С. В. Рудецкий // *Программные системы: теория и приложения*. – 2024. – Т. 15, № 2. – С. 475–492.
13. Курбацкий, А. Н. Цифра и власть: первое погружение : 50 вопросов заинтересованного чиновника / А. Н. Курбацкий, М. Г. Зеков. – Мн. : Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2021. – 190 с.
14. Мырадов, П. С. Роль искусственного интеллекта в диагностике заболеваний / П. С. Мурадов, М. Х. Нурлыева // *Ceteris paribus*. – 2025. – № 1. – С. 15–17.
15. Повышение эффективности скрининга хронических неинфекционных заболеваний с использованием технологий на основе искусственного интеллекта / П. В. Селивеев, В. Б. Гриневич, В. В. Шаповалов, Е. В. Крюков // *Лечащий врач*. – 2025. – Т. 27, № 4. – С. 97–104.
16. Ибрагимов, Ш. М. Большие данные и искусственный интеллект как драйверы трансформации здравоохранения в эпоху цифровизации / Ш. М. Ибрагимов // *Теория и практика современной науки*. – 2025. – № 9. – С. 47–58.
17. Итинсон, К. С. Информатизация медицинского образования: системы искусственного интеллекта в обучении студентов и врачей / К. С. Итинсон // *Балтийский гуманитарный журнал*. – 2020. – Т. 9, № 3. – С. 91–93.
18. Принципы ответственного использования искусственного интеллекта в здравоохранении // *IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems*. – URL: <https://standards.ieee.org/industry-connections/activities/ieee-global-initiative/> (дата обращения: 24.12.2025).
19. Богданова, Д. Р. Структура информационного хранилища системы поддержки принятия клинических решений / Д. Р. Богданова, Г. Р. Шахмаматова, А. М. Ниязгулов // *Онтология проектирования*. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 270–278.
20. Тумилевич, Е. Н. Формирование человекоцентричной экономики в условиях четвертой промышленной революции / Е. Н. Тумилевич, Э. А. Гасанов, А. В. Золотарчук // *Вестник ТОГУ*. – 2024. – № 4. – С. 99–106.
21. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Мн. : Бестпринт. – 2021. – 690 с.
22. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Мн. : Бестпринт, 2023. – 1064 с.
23. Визильтер, Ю. В. Структурно-функциональный анализ и синтез глубоких конволюционных нейронных сетей / Ю. В. Визильтер, В. С. Горбачевич, С. Ю. Желтов // *Компьютерная оптика*. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 886–900.

References

1. Lamotkin A.I., Korabel'nikov D.I. Convolutional neural networks and visual transformers in the diagnosis of skin tumors: a comparative analysis of the effectiveness of artificial intelligence models in computer vision programs. *Farmakoe'konomika. Sovremennaya farmakoe'konomika i farmakoepidemiologiya*. 2025; 3: 365–375. (in Russian)
2. Hel' I., Watson: IBM's artificial intelligence five years later. Available at: <https://hi-news.ru/medicina/watson-iskusstvennyj-intellekt-ibm-pyat-let-spustya.html> (accessed: 17.12.2025). (in Russian)
3. Miheev A.E. An approach to the implementation of medical decision support systems based on the principles of service-oriented architecture using the services of the digital medical ecosystem. *Manager zdravoochraneniya*. 2024; 101–118. doi: 10.21045/1811-0185-2024-S-101-118. (in Russian)
4. Morozov S.P. Vladzimirskij A.V., Ledihova N.V., et al. Using services based on artificial intelligence technology in the description of X-ray images for determining the categorization of the reliability of power supply to consumers: method. Moscow: Departament zdravoochraneniya. 2020. 46. Available at: <https://niioz.ru/upload/iblock/26c/26c3d74140304ff1c536b52cf70b70d5.pdf> (accessed: 19.12.2025). (in Russian)
5. Esteva A., Kuprel B., Novoa R., et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017; 42: 115–118.
6. Alubin S.V. Application of artificial intelligence technology in robotic surgery systems. *Vestnik nauki*. 2025; 2: 564–570. (in Russian)
7. Fominov S.D. Application of artificial intelligence in medicine: from diagnostics to therapy. *Vestnik nauki*. 2025; 6: 935–944. (in Russian)

8. Perelomova P.A. Evaluation of the effectiveness and development prospects of smart bracelets, watches, and sensors. *Vestnik nauki*. 2025; 3: 544–549. (in Russian)
9. Jazmuradova S. Artificial intelligence to support clinical decision-making in obstetrics. *Vestnik nauki*. 2025; 10: 862–867. (in Russian)
10. Ovsyannikov A.V., Ovsyannikov V.V. Artificial intelligence in mobile applications: opportunities, challenges, and prospects. *Auditorium. Elektronnyj nauchnyj zhurnal kurskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2025; 1. Available at: https://api-mag.kursksu.ru/api/v1/get_pdf/5703/ (accessed: 18.12.2025). (in Russian)
11. Malyh V.L. Decision Support Systems in Medicine. 2019; 10(2): 155–184. (in Russian)
12. Malyh V.L., Kalinin A.N., Rudeckij S.V. Architecture of Interaction in a Medical Ecosystem. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya*. 2024; 15(2): 475–492. (in Russian)
13. Kurbachij A.N., Zekov M.G. Digital and Power: First Dive: 50 Questions from an Interested Official. Minsk: Akademiya upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus'; 2021. 190. (in Russian)
14. Myradov P.S., Nuriyeva M.H. The Role of Artificial Intelligence in Disease Diagnosis. *Ceteris paribus*. 2025; 1: 15–17. (in Russian)
15. Selivevstov P.V., Grinevich V.B., Shapovalov V.V., Krjukov E.V. Improving the Efficiency of Screening for Chronic Non-Communicable Diseases Using Artificial Intelligence-Based Technologies. *Lechashchij vrach*. 2025; 4: 97–104. (in Russian)
16. Ibragimov Sh.M. Big Data and Artificial Intelligence as Drivers of Healthcare Transformation in the Digital Age. *Teoriya i praktika sovremennoj nauki*. 2025; 9: 47–58. (in Russian)
17. Itinson K.S. Informatization of Medical Education: Artificial Intelligence Systems in Teaching Students and Doctors. *Baltiyskij gumanitarnyj zhurnal*. 2020; 3: 91–93. (in Russian)
18. Principles of Responsible Use of Artificial Intelligence in Healthcare. IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems. Available at: <https://standards.ieee.org/industry-connections/activities/ieee-global-initiative/> (accessed: 24.12.2025). (in Russian)
19. Bogdanova D.R., Shahmametova G.R., Nijazgulov A.M. Structure of the information warehouse of the clinical decision support system. *Ontologiya proektirovaniya*. 2024; 14; 2(52): 270–278. (in Russian)
20. Tumilevich E.N., Gasanov E.A., Zolotarchuk A.V. Formation of a human-centered economy in the context of the fourth industrial revolution. *Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2024; 4: 99–106. (in Russian)
21. Golenkov V.V., Gulyakina N.A., Shunkevich D.V. Open technology for ontological design, production and operation of semantically compatible hybrid intelligent computer systems. Minsk: Bestprint; 2021. 690. (in Russian)
22. Technology of integrated support for the life cycle of semantically compatible intelligent computer systems of the new generation. Minsk; 2023. 1064. (in Russian)
23. Vizil'ter Yu.V., Gorbacevich V.S., Zheltov S.Yu. Structural and functional analysis and synthesis of deep convolutional neural networks. *Komp'yuternaya optika*. 2019; 43(5): 886–900. (in Russian)

Контактная информация:

Новиков Алексей Алексеевич – заместитель директора, начальник офиса
цифровизации здравоохранения
Республиканский научно-практический центр медицинских технологий,
информатизации, управления и экономики здравоохранения
Ул. П. Бровки, 7а, 220013, г. Минск
Сл. тел. +375 17 311-50-64

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: А. А. Н., А. А. Щ., Д. В. Ш.
Сбор информации и обработка материала: А. А. Н., А. А. Щ., Д. В. Ш.
Написание текста: А. А. Н., К. И. Г., Д. В. Ш.
Редактирование: А. А. Н., К. И. Г., Д. В. Ш.
Шункевич Даниил Вячеславович. ORCID: 0000-0003-4223-9389

Конфликт интересов отсутствует

Поступила 14.01.2026
Принята к печати 07.04.2026