

Разработка таксономии решений на основе технологий искусственного интеллекта в практике оказания медицинских услуг

Лариса Владимировна Липидус¹, Оксана Максимовна Токарева²✉

^{1, 2} Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

¹ infodilemma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9099-6707>

² oxana.tokareva13@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0009-0006-2665-8152>

Аннотация

Цель. Провести анализ исследований в области применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в медицине, норм и практик, регулирующих данную область, и на его основе построить таксономию решений на базе ИИ в практике оказания медицинских услуг.

Задачи. Структурировать существующие решения на базе ИИ в медицине; выявить, опираясь на исследования и данные о государственной регистрации, наиболее зрелые области применения ИИ и потенциальные направления развития; изучить особенности применяемых технологий.

Методология. Авторами с помощью общих методов научного познания в различных аспектах рассмотрена сфера применения технологий ИИ в медицине, выявлены и систематизированы характерные черты современного состояния этой области и тенденции дальнейшего развития.

Результаты. По результатам анализа существующих решений в области применения ИИ в медицине разделены все решения по степени проработанности, основным процессам и типу используемых данных. Построенная таксономия является первым шагом в осмыслении и структурировании существующих ИИ-решений, возможностей их использования в процессе оказания различных медицинских услуг.

Выводы. Сегодня наиболее развитой областью использования ИИ в медицине является анализ медицинских снимков в процессе диагностики, лечения и реабилитации. Дальнейшее развитие и внедрение данных технологий в медицинскую практику требует более структурированного подхода к оценке их эффективности и результативности, а также решения ряда этических и регуляторных вопросов.

Ключевые слова: социальные услуги, медицинские услуги, клиническое применение, искусственный интеллект (ИИ), машинное обучение, медицинские данные

Для цитирования: Липидус Л. В., Токарева О. М. Разработка таксономии решений на основе технологий искусственного интеллекта в практике оказания медицинских услуг // *Экономика и управление*. 2024. Т. 30. № 7. С. 819–831. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-7-819-831>

Developing a taxonomy of decisions based on artificial intelligence technologies in health care practices

Larisa V. Lapidus¹, Oksana M. Tokareva²✉

^{1, 2} Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

¹ infodilemma@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9099-6707>

² oxana.tokareva13@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0009-0006-2665-8152>

Abstract

Aim. To conduct an analysis of research on the application of artificial intelligence (AI) technologies in medicine, norms and practices governing this field, and on its basis to build a taxonomy of AI-based decisions in the practice of medical services.

Objectives. To structure existing AI-based solutions in medicine; to identify, based on research and state registration data, the most mature areas of AI application and potential areas of development; to study the specific features of the applied technologies.

Methods. The authors using general methods of scientific cognition in various aspects considered the sphere of application of AI technologies in medicine, identified and systematized the characteristic features of the current state of this field and trends of further development.

Results. According to the results of the analysis of existing solutions in the field of AI application in medicine all solutions are divided by the degree of elaboration, main processes and type of used data. The constructed taxonomy is the first step in comprehending and structuring the existing AI solutions, possibilities of their use in the process of rendering various medical services.

Conclusions. Today, the most developed area of AI use in medicine is the analysis of medical images in the process of diagnosis, treatment and rehabilitation. Further development and introduction of these technologies into medical practice requires a more structured approach to assessing their effectiveness and efficiency, as well as solving a number of ethical and regulatory issues.

Keywords: social services, medical services, clinical application, artificial intelligence (AI), machine learning, medical data

For citation: Lapidus L.V., Tokareva O.M. Developing a taxonomy of decisions based on artificial intelligence technologies in health care practices. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2024;30(7): 819-831. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-7-819-831>

Введение

В современном мире устойчивое развитие общества во многом обусловлено качеством социальных услуг, оказываемых гражданам. Медицинские услуги — это подвид социальных услуг, предоставляемых для удовлетворения потребности населения в сохранении здоровья.

Оценка качества социальных услуг играет важную роль в построении эффективной социально ориентированной рыночной экономики. В свою очередь, осуществление регулярной оценки и мониторинга позволяют совершенствовать процессы предоставления услуг и повышать эффективность и результативность их оказания.

В последние несколько лет совершен качественный скачок в развитии технологий искусственного интеллекта (ИИ) и их приме-

нении в сфере оказания медицинских услуг [1; 2]. Важной вехой в этом процессе стал период пандемии COVID-19. За короткий промежуток времени резко возросла нагрузка на здравоохранение, при этом важным звеном диагностики и лечения коронавирусной инфекции стали анализ рентгенограмм и компьютерной томографии легких, прогнозирование осложнений у переболевших пациентов.

Применение ИИ при предоставлении медицинских услуг дает следующие преимущества: увеличение точности и эффективности постановки диагноза, подбора лечения и медикаментов; снижение времени, которое врач тратит на решение рутинных задач в процессе взаимодействия «врач — пациент»; уменьшение количества врачебных ошибок; выявление закономерностей и отклонений в больших данных, собираемых

с носимых устройств, для поддержки принятия врачебных решений; учет широкого спектра факторов при принятии решений и планировании нагрузки врачей, персонала, помещений и оборудования [3; 4; 5].

В России в 2021 г. в рамках проекта «Здравоохранение» [6] и программы «Национальные проекты» утверждены федеральные проекты по развитию цифровизации сферы здравоохранения, такие как «Умное здравоохранение» и «Инновационная медицина». Помимо этого, в 2021 г. подписано распоряжение Правительства Российской Федерации (РФ) от 6 октября 2021 г. № 2816-р, которым утверждено стратегическое направление цифровой трансформации системы здравоохранения. Данная инициатива предполагает активное внедрение новых технологий, включая технологии ИИ, в медицине. Несмотря на все сложности в виде санкций, инфляции и растущей геополитической напряженности, в 2023 г. рынок инновационных медицинских технологий возрос на 27 % [7].

Алгоритмы на основе ИИ демонстрируют огромные перспективы во многих направлениях медицины. Это подтверждается многочисленными исследованиями, рассматривающими разные решения и направления применения ИИ в процессе оказания медицинских услуг. Однако сегодня каждый автор группирует и кластеризует решения на базе ИИ по индивидуальному или наиболее подходящему для конкретного обзора принципу, что значительно усложняет систематизацию данной области и ее дальнейшее развитие, исследование. История науки демонстрирует важную роль систематизации в развитии различных областей человеческой деятельности, так как структурирование всех накопленных знаний и достижений может показать точки дальнейшего роста и места приложения исследовательских усилий.

В статье нами проведен анализ существующих исследований в области применения ИИ в медицине, норм и практик, регулирующих данную область. На его основе предприняты шаги по построению таксономии решений на базе технологий ИИ в практике оказания медицинских услуг.

Обзор подходов к классификации решений на основе ИИ, применяемых в медицинской практике

В ходе обзора нами проанализированы статьи российских и зарубежных авторов,

а также нормативные документы, регулирующие оказание медицинских услуг в России. В процессе анализа научной литературы и нормативно-правовых актов выделены следующие подходы к классификации медицинских услуг, в том числе с точки зрения применения ИИ: процессный; по группам медицинских услуг; по медицинским направлениям; по типу данных; по виду алгоритма ИИ; по типам процедур; по распространенности применения.

Процессный подход к классификации медицинских услуг и их формирование в группы основан на ключевых процессах оказания медицинских услуг, зафиксированных в Федеральном законе от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» [8], и исходит из закрепленного определения медицинской услуги как «медицинского вмешательства или комплекса медицинских вмешательств, направленных на профилактику, диагностику и лечение заболеваний, медицинскую реабилитацию и имеющих самостоятельное законченное значение». В этом Федеральном законе находят отражение четыре основных процесса:

- профилактика — «комплекс мероприятий, направленных на сохранение и укрепление здоровья и включающих в себя формирование здорового образа жизни, предупреждение возникновения и (или) распространения заболеваний, их раннее выявление, выявление причин и условий их возникновения и развития»;
- диагностика — «комплекс медицинских вмешательств, направленных на распознавание состояний или установление факта наличия либо отсутствия заболеваний, осуществляемых посредством сбора и анализа жалоб пациента, данных его анамнеза и осмотра, проведения лабораторных, инструментальных, патолого-анатомических и иных исследований в целях определения диагноза, выбора мероприятий по лечению пациента и (или) контроля за осуществлением этих мероприятий»;
- лечение — «комплекс медицинских вмешательств, выполняемых по назначению медицинского работника, целью которых является устранение или облегчение проявлений заболевания или заболеваний либо состояний пациента, восстановление или улучшение его здоровья, трудоспособности и качества жизни»;

- реабилитация — «комплекс мероприятий медицинского и психологического характера, направленных на полное или частичное восстановление нарушенных и (или) компенсацию утраченных функций пораженного органа либо системы организма».

Помимо основных лечебно-диагностических процессов, в разных источниках выделяют вспомогательные: операционные (обеспечивающие) и управленческие (административные), которые, в свою очередь, опосредованно влияют на качество оказываемых медицинских услуг [9]. Мы не можем их игнорировать при рассмотрении темы исследования.

Понятие «искусственный интеллект» [10] является общим для всех моделей, «предназначенных для выполнения интеллектуальных задач на уровне, сопоставимом с результатами интеллектуального труда человека или превосходящем их, использующих алгоритмы и наборы данных для выведения закономерностей, принятия решений или прогнозирования результатов». Машинное обучение (МО) — более узкое понятие, характеризующее совокупность методов ИИ, использующих в своей основе различные алгоритмы, от простых регрессионных моделей до искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети, в свою очередь, являются подклассом МО, основанным на имитации биологических нейронных сетей. Данный подкласс моделей зарекомендовал себя для решения сложных задач, возникающих в деятельности человека, однако он отличается высокой сложностью понимания причин тех или иных решений, предлагаемых таким классом моделей.

Технологии ИИ в специализированной литературе часто группируют на основе типа данных, используемых для их обучения. В настоящее время нет четко установленной классификации данных для ИИ, однако большинство исследователей и разработчиков выделяют следующие их типы: структурированные (табличные, упорядоченные, нормированные); неструктурированные (текстовые данные: анамнез, описание в свободной форме, научные статьи, литература); аудио; изображения; видео.

Буснату и соавторы [11] в обзоре исследований разделили рассматриваемые ИИ-решения по таким медицинским направлениям, как кардиология, неврология,

онкология, гематология, нефрология, гастроэнтерология, ортопедия и ревматология. Они также указали на направления, обладающие большим потенциалом для внедрения технологий ИИ, но сегодня в меньшей степени представленные и исследованные в научном поле. Среди них — хирургия (управление роботами, помощь хирургу при сложных операциях и др.), обучение студентов-хирургов, проектирование персональных медицинских устройств, подбор индивидуального лечения, фармацевтика.

Би и соавторы [12] проанализировали статьи, исследующие применение ИИ при профилактике, диагностировании, лечении и реабилитации онкологических заболеваний. При этом исследователи обратили внимание на то, что в данном направлении ИИ может быть применен во всех ключевых процессах для анализа медицинских изображений, полученных с помощью различных технологий (в их числе — компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), рентген, кардиография, ультразвуковое исследование (УЗИ), микроскопические снимки клеток), и других данных. Для диагностирования раковых заболеваний могут быть применены все указанные выше способы получения медицинских изображений, анализ которых с помощью ИИ позволяет с высокой точностью (чувствительность (sensitivity) 87 % и специфичность (specificity) 92,5 %) [13] диагностировать раковые образования. Для подбора наиболее эффективного лечения используют анализ генома раковых клеток и микроскопические снимки клеток опухолей в целях выявления их особенностей и структуры. На этапе реабилитации ИИ помогает оценивать риск рецидива, анализируя медицинские снимки, создаваемые на протяжении определенного промежутка времени, и выявляя тенденции и изменения, недоступные человеческому глазу.

Панаидес и соавторы [14], по итогам исследования работ в области применения ИИ для анализа медицинских снимков, пришли к выводу о том, что ИИ чаще всего используют для детекции аномалий и новообразований, классификации заболеваний и сегментации органов/тканей. Кроме того, авторы указали такое направление использования ИИ, как 3D-реконструкция, а также визуализация возможных сценариев развития осложнений. В качестве главных источников для анализа с помощью ИИ ими

выделены базовые способы получения медицинских снимков: рентгенография, КТ, УЗИ, МРТ, ядерная медицина, микроскопические снимки.

Чен и соавторы [15], проанализировав 25 исследований использования ИИ для диагностики и лечения урологических заболеваний, разделили их на несколько основных групп: диагностирование, прогнозирование результатов лечения индивидуально для каждого пациента, подбор индивидуального плана лечения, оценка хирургических навыков и результативности операции (на основе видеозаписей операции, данных с приборов, в том числе с носимых хирургами датчиков). Авторы другой статьи [9] на основе анализа 53 исследований, рассматривающих различные направления использования ИИ-алгоритмов в медицинской практике, в качестве базового элемента классификации ИИ-решений выбрали разделение по типу влияния на здоровье пациента: диагностические (прямое влияние на здоровье и безопасность пациента и результаты лечения); клинический уровень (влияние на основные клинические процессы и системы, которые опосредованно также воздействуют на здоровье и безопасность пациентов).

Несмотря на то, что системы ИИ неоднократно демонстрировали свою успешность в самых разных ретроспективных медицинских исследованиях, относительно небольшое количество инструментов ИИ внедрено в медицинскую практику. Наибольший прогресс сегодня достигнут в области сегментации и классификации медицинских снимков, в частности снимков рентген, УЗИ и КТ [16]. В результате решения на базе ИИ получили наибольшее распространение в областях, которые в значительной степени зависят от интерпретации изображений, таких как радиология, патология, неврология, гастроэнтерология и офтальмология. Во многом это обусловлено тем, что данные медицинской визуализации составляют до 90 % клинических медицинских данных [17], а также значительным прогрессом в работе алгоритмов компьютерного зрения [28].

Если смотреть на государственное лицензирование ИИ-решений в медицине, то в США все больше ИИ-инструментов получают одобрение Управления по контролю за продуктами питания и лекарствами США (FDA), и большинство одобренных решений представляют собой системы для диагности-

рования и анализа медицинских снимков. По состоянию на конец июля 2023 г. 79 % устройств, разрешенных к использованию в 2023 г., используют в радиологии, 9 % — в сердечно-сосудистой хирургии, 5 % — в неврологии, 4 % — в гастроэнтерологии/урологии, 2 % — в анестезиологии и по 1 % — в отоларингологии и офтальмологии [19]. В России решения на базе ИИ, одобренные Росздравнадзором, также представлены в большей степени решениями для анализа медицинских снимков, на втором месте по количеству решений находятся системы поддержки принятия решений [20].

Авторы обзорного исследования [16] в качестве наиболее перспективных направлений новой волны развития ИИ-решений в медицине выделяют следующие: работа с данными, не связанным с изображениями, такими как текст, химические и геномные последовательности, которые могут дать богатую медицинскую информацию; решения на базе алгоритмов, обученных без учителя (unsupervised learning), которые подразумевают работу с неструктурированными и неразмеченными данными; решения на базе ИИ, позволяющие достигнуть синергетического эффекта от сотрудничества врачей и ИИ-инструментов. В настоящее время чаще всего ИИ-инструменты рассматривают и оценивают с точки зрения конкуренции с результатами врачей.

Анализ [21] ключевых характеристик 100 коммерческих продуктов на базе ИИ в радиологии позволил разделить решения, основываясь на их специфике, способах применения и основной функциональности:

1. Специализация: головной мозг (38 %), грудная клетка (31 %), молочная железа (12 %), скелетно-мышечная ткань (11 %), желудок (4 %), сердечно-сосудистая система (2 %).

2. Метод получения данных (изображений): компьютерная томография (37 %), магнитно-резонансная томография (25 %), рентген (22 %), маммография (11 %), ультразвук (2 %).

3. Целевая функция: количественный анализ (33 %), обнаружение (детектирование) (27 %), диагностика (22 %), сортировка (14 %), улучшение изображений (4 %).

Вильямс и соавторы [22] в своей статье для рассмотрения и анализа потенциального клинического воздействия ИИ при нейрохирургическом лечении опухолей

головного мозга сформировали два подхода к классификации ИИ-решений в медицине:

1. На основе используемых алгоритмов и данных:

- 1.1. Машинное обучение.
- 1.2. Обработка естественного языка (анализ и синтез текстовых данных).
- 1.3. Компьютерное зрение.
- 1.4. Искусственные нейронные сети.
- 1.5. Роботы, действующие на основе ИИ-алгоритмов.

2. На основе клинического этапа, выделяя три основных этапа:

- 2.1. Предоперационный: скрининг, улучшение медицинских изображений, компьютерная рентгенологическая диагностика, прогнозирование степени злокачественности опухоли, прогнозирование и классификация потенциальных рисков, планирование хирургического вмешательства.
- 2.2. Интраоперационный: анализ рабочего процесса, выявление рисков в процессе операции, анализ и идентификация злокачественных тканей в ходе операции для корректировки плана операции, управление хирургическими роботами.
- 2.3. Послеоперационный: автоматизированная и точная гистопатологическая диагностика, прогнозирование осложнений, биоинформатические системы раннего предупреждения, индивидуальное наблюдение, прогнозирование рецидива, персонализированный подбор медикаментов.

Последний подход используют в качестве базовой классификации ИИ-инструментов в ряде систематических обзоров [11].

Стремительно растущее количество научных исследований продемонстрировало различные области применения ИИ в здравоохранении, которые можно разделить на две основные группы [23]:

- алгоритмы на основе компьютерного зрения для диагностирования различных заболеваний: интерпретация рентгенограмм грудной клетки; выявление рака на маммограммах; анализ компьютерных томографических снимков; выявление опухолей головного мозга на магнитно-резонансных изображениях; прогнозирование развития болезни Альцгеймера по данным позитронно-эмиссионной томографии; патология; выявление раковых поражений кожи; интерпретация изображений сет-

чатки; выявление аритмий; выявление гиперкалиемии по электрокардиограммам; обнаружение полипов с помощью колоноскопии; улучшение интерпретации геномики; выявление генетических заболеваний по внешнему виду лица; оценка качества эмбрионов для максимального успеха экстракорпорального оплодотворения;

- системы поддержки принятия решений: автоматизация основных клинических процессов на основе анализа большого объема данных, собранных из электронных медицинских карт (проведение диагностических оценок; оценка риска перевода в отделение интенсивной терапии в режиме реального времени; прогнозирование смертности в стационаре, риска повторной госпитализации, увеличения продолжительности пребывания; прогнозирование будущего ухудшения состояния, включая острое повреждение почек; совершенствование стратегий принятия решений, включая отказ от искусственной вентиляции легких; лечение сепсиса; изучение политики лечения на основе данных наблюдений); системы для улучшения рутинных рабочих и административных процессов (автоматическое извлечение семантической информации из расшифровок разговоров; распознавание речи в разговорах врача и пациента; прогнозирование риска неявки на прием в больницу; подведение итогов консультаций врача и пациента).

Системы поддержки принятия врачебных решений (СППР) нацелены на помощь врачу при постановке диагноза и подборе лечения [24; 25], а также на помощь в других клинических процессах, в том числе операционных и управленческих. Подобные решения используют с 80-х гг. прошлого века, однако с распространением технологий ИИ данные системы претерпевают быструю эволюцию. Сегодня выделяют два типа подобных систем: основанных на знаниях (knowledge-based) и не основанных на знаниях (non-knowledge-based).

В системах, основанных на знаниях, создают четкие алгоритмы на базе правил (инструкции «Если — То»), используя систематизированные экспертные медицинские знания (научные исследования, клинические рекомендации, практические кейсы). Второй тип систем (не основан на знаниях) также применяет различные ис-

точники данных, но зачастую не требует их систематизации и четких алгоритмических указаний для их интерпретации. При принятии решения используют ИИ, а не четкие алгоритмы, запрограммированные на основе экспертных медицинских знаний. СППР, не основанные на знаниях, хотя и находят все более широкое применение в медицине, в настоящее время имеют ряд ограничений, включая проблемы с пониманием логики, которую ИИ использует для выработки рекомендаций (проблема «черного ящика»), и проблемы с доступностью данных.

К направлениям применения СППР относятся мониторинг безопасности пациентов («Инцидент-менеджмент»); клиническое руководство (соблюдение клинических рекомендаций, наблюдение и напоминания о лечении и т.д.); сокращение затрат за счет рекомендации более дешевых вариантов лечения; автоматизация административных функций; предоставление диагностических рекомендаций на основе данных пациента, автоматизация вывода результатов анализов; поддержка диагностики; поддержка принятия решений пациентами; анализ и корректировка заполнения документации; улучшение рабочего процесса (загрузка, закупка медикаментов, штатное расписание и рабочие смены и др.). Перечислим трудности, связанные с разработкой и применением данных систем: использование неструктурированных данных, которые усложняют разработку и валидацию ИИ-систем, сложность оценки качества подобных систем из-за сложности оценки эталонного результата; усталость от ложных уведомлений, которые в любых СППР могут возникать и отнимать время на их анализ и рассмотрение у персонала; излишнее доверие персонала результатам работы и полагание на решение системы, особенно среди младшего персонала; сложность масштабирования и распространения систем из-за их высокой специфичности, зависимости от определенного типа данных, оборудования и др.

Активный рост количества электронных стационарных и носимых устройств (интернет вещей, IoT), собирающих огромные массивы данных, представляет большой потенциал для повышения качества всех главных медицинских процессов: профилактики, диагностики, лечения и реабилитации. ИИ служит наилучшим инструментом для анализа и извлечения пользы из большого массива данных. Развитие

сетевых технологий и оборудования дает возможность передавать и анализировать данные в режиме реального времени, что дает огромное преимущество в медицине. В этой области время — зачастую самый важный фактор.

Данные с различных устройств, как правило, являются структурированными, что в некоторой степени упрощает их обработку и использование, в отличие от неструктурированных данных. Среди проблем, связанных с этим видом данных, можно указать их значительный объем, что ведет к необходимости использования специального мощного оборудования для их хранения и обработки. Сегодня технологии периодически подвержены сбоям, что влияет на равномерность сбора данных и их своевременную передачу для обработки.

Ряд авторов [17; 26; 27] на основе обзора существующих решений и технологий выделяют следующие направления использования ИИ и данных интернета вещей:

- распознавание активности, то есть мониторинга активности пациентов на основе данных с различных датчиков. Особенно активно развивается данное направление в кардиологии;
- распознавание поведения — в отделениях интенсивной терапии, неотложной помощи, реабилитации и других ситуациях отслеживают поведение пациентов с помощью удаленной видеозаписи для идентификации перемещения пациентов и качества их обслуживания;
- выявление отклонений от нормы — выявление значений в данных, которые не согласуются с остальными данными или не соответствуют ожидаемым тенденциям или характеристикам;
- помощь при принятии решений — повышение скорости и точности постановки диагнозов врачами на основе анализа многомерных медицинских данных;
- удаленная диагностика и лечение — обеспечение сотрудничества в области удаленной диагностики и лечения для оптимизации распределения медицинских ресурсов и обслуживания географически удаленных мест, в которых могут отсутствовать необходимые компетенции;
- применение для оказания экстренной и первой медицинской помощи на основе сценариев;
- управление хирургическими роботами [28].

Таксономия медицинских услуг с точки зрения возможности использования ИИ

По результатам анализа научной литературы нами выделен и структурирован перечень основных классификаторов, которые могут быть использованы для систематизации всех ИИ-решений, применяемых в медицинской практике. Задействованные классификаторы разделены на пять групп:

- процессы, то есть профилактика, диагностика, лечение, реабилитация и вспомогательные (обеспечивающие и административные);
- тип данных — изображения, видео, структурированные данные, аудио, неструктурированные данные;
- степень разработанности направления — разрабатываемые и внедряемые, перспективные, потенциальные;
- тип системы — диагностические, системы поддержки принятия решений;
- класс ИИ-моделей — машинное обучение, искусственные нейронные сети.

На основе данных групп классификаторов построена таксономия ИИ-решений в медицине, отраженная на рисунке 1.

Предложенная таксономия решений на базе ИИ строится на таких двух базовых классификаторах, как процесс и тип данных. В качестве процессных классификаторов за основу взяты базовые процессы, закрепленные в специальных нормативных актах РФ, а также отдельно выделены вспомогательные процессы, которые в разных источниках имеют разные названия и описания, но обладают одним ключевым свойством: их влияние на здоровье пациента является опосредованным. Главная функция данных процессов — это поддержка, упрощение и помощь в осуществлении базовых процессов.

В качестве второго основного классификатора выбран тип данных, используемый для работы определенной модели на базе ИИ. В ряде рассмотренных исследований предприняты попытки классифицировать решения на базе ИИ по типу используемого алгоритма. Однако это работает только для определенного узкого направления (например, в случае диагностики онкологических заболеваний посредством анализа медицинских снимков). При попытке расширения этой классификации мы столкнулись с возможностью использования какого-либо алгоритма ИИ для разных целей и на разных

типах данных. Если рассматривать решение с другой стороны, если определена цель и тип данных, то всегда существует четкий набор решений, которые не могут быть использованы в иных целях и из которых можно выбрать одно наиболее эффективное.

Указанные классификаторы позволяют более четко формировать и описывать границы между областями применения решений на базе ИИ. Другие классификаторы, рассмотренные в настоящей статье, обладают менее четкими разграничивающими свойствами и не позволяют достигнуть наиболее структурированной картины. В данной системе, при детальном рассмотрении блоков, объединяющих несколько процессов или типов данных, практически любое решение можно будет четко определить в определенный квадрат. К тому же несколько базовых решений могут формировать комплексное, направленное на решение определенной задачи с использованием разных алгоритмов и разных типов данных.

Таким образом, в настоящем исследовании нами предпринят подход к построению наиболее полной таксономии решений на базе технологий ИИ в практике оказания медицинских услуг. Тем не менее стоит выделить несколько факторов и деталей, которые не могут быть в полной мере включены в данную классификацию и остаются за рамками последней.

Во-первых — это мультимодальные и генеративные ИИ-модели, которые могут обучаться и работать на основе нескольких типов данных, что не позволяет их четко определить в тот или иной класс решений. Однако сегодня эти решения находятся на раннем этапе своего развития и имеют узкое применение. Подобные модели практически всегда можно заменить набором более простых, работающих совместно для повышения эффективности деятельности друг друга.

Во-вторых — группа решений, в которых активно применяют ИИ с целью влияния на здоровье человека. В нее входят персональные носимые устройства и приложения для анализа данных с подобных устройств. Такие решения сегодня не требуют сертификации, свободно распространяются и доступны любому владельцу смартфона, что несет ряд рисков и потенциальный вред здоровью человека. Поскольку подобные устройства и приложения не предполагают официального тестирования и подтверждения

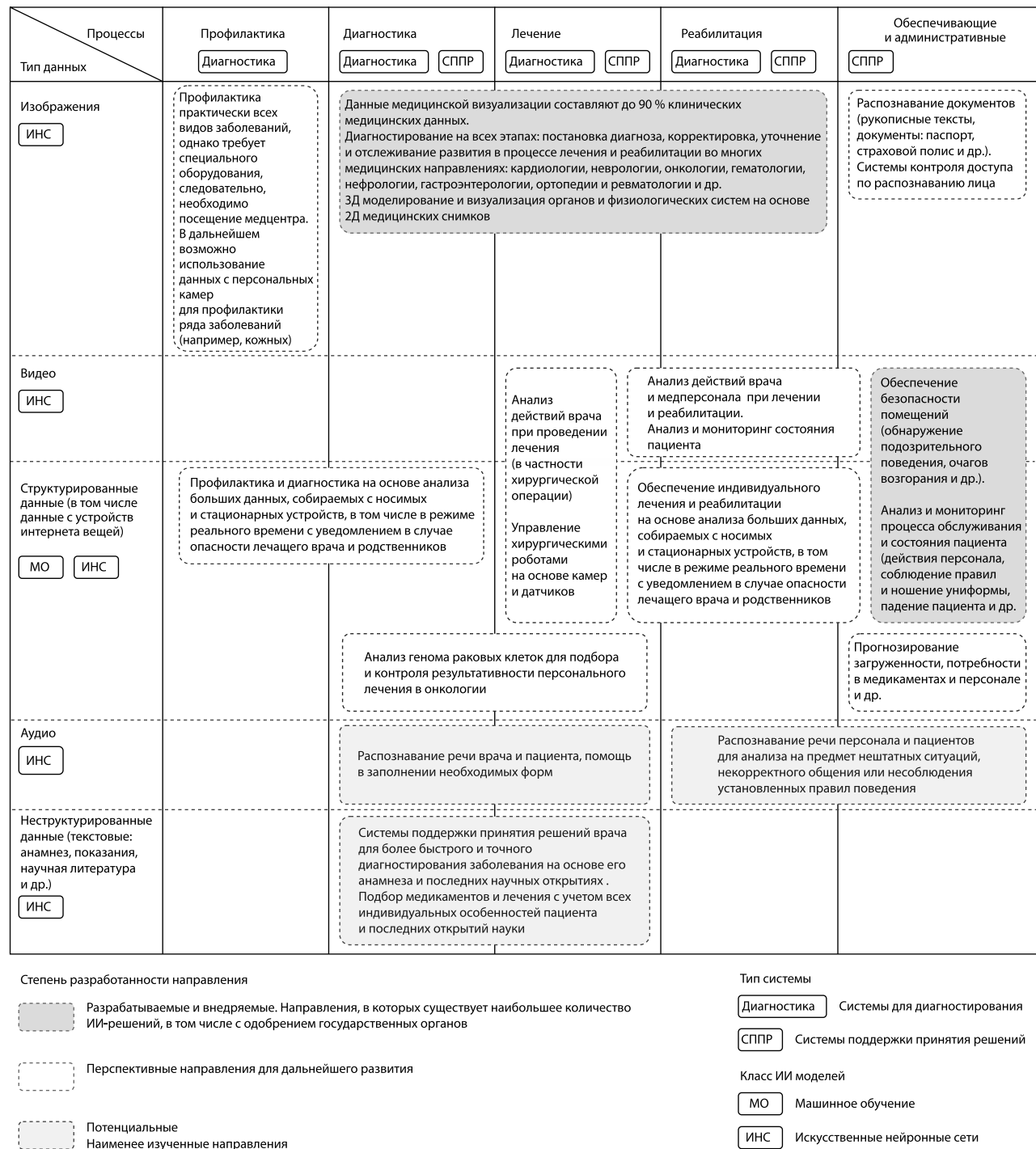


Рис. 1. Таксономия решений на основе технологий искусственного интеллекта в практике оказания медицинских услуг

Fig. 1. Taxonomy of decisions based on artificial intelligence technologies in the practice of health care delivery

Источник: разработано авторами.

их эффективности и безвредности, они могут нести потенциальный вред для здоровья, давая неправильные рекомендации пользователю, предоставляя ложное чувство контроля и тем самым снижая вероятность профилактического визита человека к врачу.

Выводы

По результатам анализа существующих решений в области применения ИИ в медицине, все решения нами разделены по степени проработанности, основным процессам и типу используемых данных. Построенная

таксономия — первый шаг в осмыслении и структурировании существующих ИИ-решений, возможностей их использования в процессе оказания различных медицинских услуг.

В настоящее время наиболее развитой областью использования ИИ в медицине является анализ медицинских снимков в процессе диагностики, лечения и реабилитации. Это во многом обусловлено тем, что данные медицинской визуализации составляют до 90 % клинических медицинских данных, а также что модели ИИ для анализа изображений значительно эволюционировали и достигли высокой эффективности алгоритмов. Стремительно развивается и такое направление, как интернет вещей, которое позволит собирать и анализировать большие объемы данных, что, в свою очередь, улучшит процессы профилактики и реабилитации.

Существенной проблемой, о которой пишут многие исследователи [1; 2; 13], является оценка эффективности и результативности применения ИИ в медицине. Каждое исследование, направленное на системный анализ достижений в области разработки и применения ИИ-инструментов в медицине, показывает проблему сложности сравнения результатов по нескольким причинам: в работах используют различные метрики; скры-

вают сведения об используемых данных, составе и пропорциях обучающей/тестовой/валидационной выборки; отсутствует информация о клинических испытаниях.

Помимо проблемы оценки эффективности и результативности решений, многие авторы освещают ряд этических проблем и вызовов использования ИИ в медицине [11]. К ним отнесены следующие:

1. Проблема доверия врача и персонала к подобным системам, в частности скептическое отношение может вызывать отказ от использования, излишне положительное отношение может приводить к перекладыванию принятия решения с врача на систему. Скептическое отношение, как правило, возникает из-за непонимания процесса принятия того или иного решения системой, которое свойственно моделям на основе искусственных нейронных сетей (проблема «черного ящика»).

2. Зависимость алгоритмов от обучающих данных, что может приводить к ошибкам модели и ее смещения (предвзятости к определенным группам пациентов или диагнозов), скопированным из данных.

3. Юридические и регуляторные аспекты, в том числе проблема финального решения и ответственности за врачебные ошибки, вызванные ошибочными результатами работы ИИ-модели.

Список источников

1. Topol E. J. High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence // *Nature medicine*. 2019. Vol. 25. No. 1. P. 44–56. DOI: 10.1038/s41591-018-0300-7
2. Topol E. Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again. New York, NY: Basic Books, 2019. 400 p.
3. Ланидус Л. В. Повышение качества услуг социальной сферы в современных условиях // *Современные проблемы сервиса и туризма*. 2014. Т. 8. № 2. С. 34–41. DOI: 10.12737/4308
4. Симченко Н. А., Сафонов В. В. Возможности использования искусственного интеллекта при оказании медицинских услуг // *Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество*. 2021. № 4-1. С. 668–669.
5. Pérez-García F., Sparks R., Ourselin S. Torch IO: A Python library for efficient loading, preprocessing, augmentation and patch-based sampling of medical images in deep learning // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2021. Vol. 208. Article 106236. DOI: 10.1016/j.cmpb.2021.106236
6. Опубликован паспорт национального проекта «Здравоохранение» // Правительство России. 2019. 11 февраля. URL: <http://government.ru/info/35561/> (дата обращения: 19.05.2024).
7. Medtech-рынок вырос за 2023 год на 27 % // Smart Ranking. 2024. 14 марта. URL: <https://smartranking.ru/ru/analytics/medicinskie-tehnologii/medtech-rynok-vyros-za-2023-god-na-27/> (дата обращения: 14.05.2024).
8. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации: федер. закон от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ // Министерство здравоохранения РФ: офиц. сайт. URL: <https://minzdrav.gov.ru/documents/7025-federalnyy-zakon-323-fz-ot-21-noyabrya-2011-g> (дата обращения: 15.05.2024).
9. Choudhury A., Asan O. Role of artificial intelligence in patient safety outcomes: Systematic literature review // *JMIR medical informatics*. 2020. Vol. 8. No. 7. Article e18599. DOI: 10.2196/18599

10. О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 10 сентября 2019 г. № 490 // Президент России: офиц. сайт. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения: 15.05.2024).
11. Clinical applications of artificial intelligence — an updated overview / Ş. Busnatu, A.-G. Niculescu, A. Bolocan et al. // *Journal of Clinical Medicine*. 2022. Vol. 11. No. 8. Article 2265. DOI: 10.3390/jcm11082265
12. Artificial intelligence in cancer imaging: clinical challenges and applications / W. L. Bi, A. Hosny, M. B. Schabath et al. // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2019. Vol. 69. No. 2. P. 127–157. DOI: 10.3322/caac.21552
13. A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: A systematic review and meta-analysis / X. Liu, L. Faes, A. U. Kale et al. // *The Lancet Digital Health*. 2019. Vol. 1. No. 6. P. e271-e297. DOI: 10.1016/S2589-7500(19)30123-2
14. AI in medical imaging informatics: Current challenges and future directions / A. S. Panayides, A. Amini, N. D. Filipovic et al. // *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2020. Vol. 24. No. 7. P. 1837–1857. DOI: 10.1109/JBHI.2020.2991043
15. Current status of artificial intelligence applications in urology and their potential to influence clinical practice / J. Chen, D. Remulla, J. H. Nguyen et al. // *BJU International*. 2019. Vol. 124. No. 4. P. 567–577. DOI: 10.1111/bju.14852
16. AI in health and medicine / P. Rajpurkar, E. Chen, O. Banerjee, E. J. Topol // *Nature Medicine*. 2022. Vol. 28. No. 1. P. 31–38. DOI: 10.1038/s41591-021-01614-0
17. Application of AI and IoT in clinical medicine: Summary and challenges / Z. X. Lu, P. Qian, D. Bi et al. // *Current Medical Science*. 2021. Vol. 41. No. 6. P. 1134–1150. DOI: 10.1007/s11596-021-2486-z
18. Итоги развития компьютерного зрения за один год // Хабр. 2018. 6 января. URL: <https://habr.com/ru/articles/346140/> (дата обращения: 15.04.2024).
19. Artificial intelligence and machine learning (AI/ML) – enabled medical devices // FDA. August 7, 2024. URL: <https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-and-machine-learning-aiml-enabled-medical-devices> (дата обращения: 15.05.2024).
20. Перечень одобренных Росздравнадзором отечественных медицинских изделий на основе технологий искусственного интеллекта от 4 апреля 2023 г. // Портал оперативного взаимодействия участников ЕГИСЗ. URL: <https://portal.egisz.rosminzdrav.ru/news/855> (дата обращения: 15.05.2024).
21. Artificial intelligence in radiology: 100 commercially available products and their scientific evidence / K. G. van Leeuwen, S. Schalekamp, M. J. Rutten, et al. // *European radiology*. 2021. Vol. 31. No. 6. P. 3797–3804. DOI: 10.1007/s00330-021-07892-z
22. Artificial intelligence in brain tumour surgery — an emerging paradigm / S. Williams, H. L. Horsfall, J. P. Funnell et al. // *Cancers*. 2021. Vol. 13. No. 19. Article 5010. DOI: 10.3390/cancers13195010
23. Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence / C. J. Kelly, A. Karthikesalingam, M. Suleyman et al. // *BMC Medicine*. 2019. Vol. 17. No. 1. Article 195. DOI: 10.1186/s12916-019-1426-2
24. An overview of clinical decision support systems: Benefits, risks, and strategies for success / R. T. Sutton, D. Pincock, D. C. Baumgart et al. // *NPJ Digital Medicine*. 2020. Vol. 3. No. 1. Article 17. DOI: 10.1038/s41746-020-0221-y
25. Berner E. S., La Lande T. J. Overview of clinical decision support systems // E. S. Berner, ed. *Clinical decision support systems*. Health Informatics. Cham: Springer-Verlag, 2016. P. 1–17. DOI: 10.1007/978-3-319-31913-1_1
26. Alshehri F., Muhammad G. A comprehensive survey of the Internet of things (IoT) and AI-based smart healthcare // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 3660–3678. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3047960
27. Artificial intelligence (AI) and internet of medical things (IoMT) assisted biomedical systems for intelligent healthcare / P. Manickam, S. A. Mariappan, S. M. Murugesan et al. // *Biosensors*. 2022. Vol. 12. No. 8. Article. 562. DOI: 10.3390/bios12080562
28. Kavidha V., Gayathri N., Kumar S. R. AI, IoT and robotics in the medical and healthcare field // A. K. Dubey, A. Kumar, S. R. Kumar, et al., eds. *AI and IoT-based intelligent automation in robotics*. Beverly, MA: Scrivener Publishing LLC, 2021. P. 165–187. DOI: 10.1002/9781119711230.ch10

References

1. Topol E.J. High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*. 2019;25(1):44-56. DOI: 10.1038/s41591-018-0300-7

2. Topol E. Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again. New York, NY: Basic Books; 2019. 400 p.
3. Lapidus L. Improving the quality of social services in modern conditions. *Sovremennye problemy servisa i turizma = Service and Tourism: Current Challenges*. 2014;8(2):34-41. (In Russ.). DOI: 10.12737/4308
4. Simchenko N.A., Safonov V.V. Possibilities of using artificial intelligence in the provision of medical services. *Bol'shaya Evraziya: razvitie, bezopasnost', sotrudnichestvo = Greater Eurasia: Development, Security, Cooperation*. 2021;(4-1):668-669. (In Russ.).
5. Pérez-García F., Sparks R., Ourselin S. Torch IO: A Python library for efficient loading, preprocessing, augmentation and patch-based sampling of medical images in deep learning. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2021;208:106236. DOI: 10.1016/j.cmpb.2021.106236
6. The passport of the national project "Healthcare" has been published. Government of Russia. Feb. 11, 2019. URL: <http://government.ru/info/35561/> (accessed on 19.05.2024). (In Russ.).
7. Medtech market grew by 27% in 2023. Smart Ranking. Mar. 14, 2024. URL: <https://smart-ranking.ru/ru/analytics/medicinskie-tehnologii/medtech-rynok-vyros-za-2023-god-na-27/> (accessed on 14.05.2024). (In Russ.).
8. On the fundamentals of health protection of citizens in the Russian Federation. Federal Law of November 21, 2011 No. 323-FZ. Official website of the Ministry of Health of the Russian Federation. URL: <https://minzdrav.gov.ru/documents/7025-federalnyy-zakon-323-fz-ot-21-noyabrya-2011-g> (accessed on 15.05.2024). (In Russ.).
9. Choudhury A., Asan O. Role of artificial intelligence in patient safety outcomes: Systematic literature review. *JMIR Medical Informatics*. 2020;8(7):e18599. DOI: 10.2196/18599
10. On the development of artificial intelligence in the Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation of September 10, 2019 No. 490. Official website of the President of Russia. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/44731> (accessed on 15.05.2024). (In Russ.).
11. Busnatu Ș., Niculescu A.-G., Bolocan A., et al. Clinical applications of artificial intelligence — an updated overview. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(8):2265. DOI: 10.3390/jcm11082265
12. Bi W.L., Hosny A., Schabath M.B., et al. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2019;69(2):127-157. DOI: 10.3322/caac.21552
13. Liu X., Faes L., Kale A.U., et al. A comparison of deep learning performance against healthcare professionals in detecting diseases from medical imaging: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Digital Health*. 2019;1(6):e271-e297. DOI: 10.1016/S2589-7500(19)30123-2
14. Panayides A.S., Amini A., Filipovic N.D., et al. AI in medical imaging informatics: Current challenges and future directions. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2020;24(7):1837-1857. DOI: 10.1109/JBHI.2020.2991043
15. Chen J., Remulla D., Nguyen J.H., Dua A., Liu Y., Dasgupta P., Hung A.J. Current status of artificial intelligence applications in urology and their potential to influence clinical practice. *BJU International*. 2019;124(4):567-577. DOI: 10.1111/bju.14852
16. Rajpurkar P., Chen E., Banerjee O., Topol E.J. AI in health and medicine. *Nature Medicine*. 2022;28(1):31-38. DOI: 10.1038/s41591-021-01614-0
17. Lu Z.-X., Qian P., Bi D., et al. Application of AI and IoT in clinical medicine: Summary and challenges. *Current Medical Science*. 2021;41(6):1134-1150. DOI: 10.1007/s11596-021-2486-z
18. Results of computer vision development in one year. Habr. Jan. 06, 2018. URL: <https://habr.com/ru/articles/346140/> (accessed on 15.04.2024). (In Russ.).
19. Artificial intelligence and machine learning (AI/ML) – enabled medical devices. FDA. Aug. 07, 2024. URL: <https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-and-machine-learning-aiml-enabled-medical-devices> (accessed on 15.05.2024).
20. List of domestic medical products based on artificial intelligence technologies approved by Roszdravnadzor as of April 4, 2023. Portal for Operational Interaction of Participants of the Unified State Information System in the Field of Healthcare. URL: <https://portal.egisz.rosminzdrav.ru/news/855> (accessed on 15.05.2024). (In Russ.).
21. Van Leeuwen K.G., Schalekamp S., Rutten M.J.C.M., van Ginneken B., de Rooij M. Artificial intelligence in radiology: 100 commercially available products and their scientific evidence. *European Radiology*. 2021;31(6):3797-3804. DOI: 10.1007/s00330-021-07892-z
22. Williams S., Horsfall H.L., Funnell J.P., et al. Artificial intelligence in brain tumour surgery — an emerging paradigm. *Cancers*. 2021;13(19):5010. DOI: 10.3390/cancers13195010
23. Kelly C.J., Karthikesalingam A., Suleyman M., Corrado G., King D. Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Medicine*. 2019;17(1):195. DOI: 10.1186/s12916-019-1426-2

24. Sutton R.T., Pincock D., Baumgart D.C., Sadowski D.C., Fedorak R.N., Kroeker K.I. An overview of clinical decision support systems: Benefits, risks, and strategies for success. *NPJ Digital Medicine*. 2020;3(1):17. DOI: 10.1038/s41746-020-0221-y

25. Berner E.S., La Lande T.J. Overview of clinical decision support systems. In: Berner E.S., ed. *Clinical decision support systems*. Health Informatics. Cham: Springer-Verlag; 2016:1-17. DOI: 10.1007/978-3-319-31913-1_1

26. Alshehri F., Muhammad G. A comprehensive survey of the Internet of things (IoT) and AI-based smart healthcare. *IEEE Access*. 2021;9:3660-3678. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3047960

27. Manickam P., Mariappan S.A., Murugesan S.M., et al. Artificial intelligence (AI) and Internet of medical things (IoMT) assisted biomedical systems for intelligent healthcare. *Biosensors*. 2022;12(8):562. DOI: 10.3390/bios12080562

28. Kavidha V., Gayathri N., Kumar S.R. AI, IoT and robotics in the medical and healthcare field. In: Dubey A.K., Kumar A., Kumar S.R., et al., eds. *AI and IoT-based intelligent automation in robotics*. Beverly, MA: Scrivener Publishing LLC; 2021:165-187. DOI: 10.1002/9781119711230.ch10

Сведения об авторах

Лариса Владимировна Лapidус

доктор экономических наук, профессор,
заведующая лабораторией прикладного
отраслевого анализа экономического факультета
Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 46
SPIN-код: 2574-5420
IstinaResearcherID (IRID): 7747618
Scopus Author ID: 56346948300
ResearcherID: AAZ-8362-2020

Оксана Максимовна Токарева

аспирант
Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 46
IstinaResearcherID (IRID): 658167460

Поступила в редакцию 18.07.2024
Прошла рецензирование 13.08.2024
Подписана в печать 26.08.2024

Information about the authors

Larisa V. Lapidus

D.Sc. in Economics, Professor,
Head of the Laboratory of Applied Industrial
Analysis of the Faculty of Economics
Lomonosov Moscow State University
1-46 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
SPIN-code: 2574-5420
IstinaResearcherID (IRID): 7747618
Scopus Author ID: 56346948300
ResearcherID: AAZ-8362-2020

Oksana M. Tokareva

postgraduate student
Lomonosov Moscow State University
1-46 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
IstinaResearcherID (IRID): 658167460

Received 18.07.2024
Revised 13.08.2024
Accepted 26.08.2024

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.
Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest
related to the publication of this article.