

УДК 004.9

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.46.3.026](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.46.3.026)

Технологии искусственного интеллекта в реабилитации инвалидов: анализ публикационного потока

А.Р. Суфэльфа^{1,2}, К.Н. Петрищева^{2,3}, К.К. Щербина², Г.Н. Пономаренко^{2,4}

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации имени Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Резюме. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) активно применяются в медицине, что значительно расширяет возможности профилактики, диагностики, лечения и мониторинга заболеваний. Реабилитация инвалидов, находящаяся на стыке медицины и социальной сферы, традиционно перенимает инновационные подходы развития из сферы здравоохранения. Вопросы применения технологий ИИ в реабилитации инвалидов с учетом особенностей реабилитационных мероприятий для различных пациентов требуют изучения. Цель работы – проанализировать публикационный поток зарубежных исследований по теме применения технологий ИИ в реабилитации инвалидов и выявить наиболее используемые методы ИИ для последующего внедрения в практику. Были проанализированы публикации из международной медицинской базы данных *PubMed* за последние 5 лет (с января 2019 года по май 2024 года). Среди методов технологий искусственного интеллекта в разбивке по способу обработки информации одними из основных, согласно проведенному анализу публикационного потока, оказались методы машинного обучения, глубокого обучения и нейронных сетей в различных сочетаниях. Чаще всего эти методы применяются для создания систем мониторинга показателей здоровья и предсказания (на основе машинного обучения) и систем поддержки принятия (врачебных) решений (на основе нейронных сетей). Они имеют высокий потенциал применения в реабилитации инвалидов в сферах медико-социальной экспертизы, составления индивидуальных реабилитационных программ и мониторинга эффективности реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: искусственный интеллект, методы обработки данных, машинное обучение, реабилитация, инвалиды, анализ публикаций, системы поддержки принятия решений, мониторинг показателей здоровья.

Для цитирования: Суфэльфа А.Р., Петрищева К.Н., Щербина К.К., Пономаренко Г.Н. Технологии искусственного интеллекта в реабилитации инвалидов: анализ публикационного потока. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1638> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.026

Artificial intelligence technologies in the rehabilitation of people with disabilities: analysis of the publication flow

A.R. Sufelfa^{1,2}, K.N. Petrishcheva^{2,3}, K.K. Shcherbina², G.N. Ponomarenko^{2,4}

¹Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, the Russian Federation

²Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, Saint Petersburg, the Russian Federation

³*Saint Petersburg University, Saint Petersburg, the Russian Federation*

⁴*North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, the Russian Federation*

Abstract. Artificial intelligence technologies are actively used in medicine, which significantly expands the possibilities of disease prevention, diagnosis, treatment and monitoring. Rehabilitation of the disabled, located at the intersection of medicine and the social sphere, traditionally adopts innovative development approaches from the healthcare sector. The issues of using artificial intelligence technologies in the rehabilitation of the disabled, taking into account the specifics of rehabilitation measures for different patients, require study. The purpose of the work is to analyze the foreign studies on the topic of using artificial intelligence technologies in the rehabilitation of the disabled and to identify the most used artificial intelligence methods for subsequent implementation in practice. Publications from the international medical database *PubMed* over the past 5 years (from January 2019 to May 2024) were analyzed. According to the analysis among artificial intelligence technologies broken down by information processing method, some of the main ones were machine learning, deep learning and neural networks, with different ways of combining all three methods. Most often, these methods are used to create health monitoring and prediction systems (based on machine learning) and (medical) decision support systems (based on neural networks). They have a high potential for use in the rehabilitation of people with disabilities in the areas of medical and social examination, developing individual rehabilitation programmes and monitoring the effectiveness of rehabilitation measures.

Keywords: artificial intelligence, data processing methods, machine learning, rehabilitation, people with disabilities, publication analysis, decision support system, health indicators monitoring.

For citation: Sufelfa A.R., Petrishcheva K.N., Shcherbina K.K., Ponomarenko G.N. Artificial intelligence technologies in the rehabilitation of people with disabilities: analysis of the publication flow. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1638> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.026 (In Russ.).

Введение

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) активно применяются в медицине, что значительно расширяет возможности профилактики, диагностики, лечения и мониторинга заболеваний. Алгоритмы машинного обучения и нейронные сети позволяют анализировать огромные объемы данных пациентов, выявлять скрытые закономерности и прогнозировать развитие заболеваний [1–5].

Реабилитация инвалидов (система комплексной реабилитации и абилитации инвалидов и детей-инвалидов) – область, находящаяся на стыке медицины (медицинская реабилитация, физическая и реабилитационная медицина, санаторно-курортное лечение) и социальной сферы (социальная, бытовая, психологическая, профессиональная реабилитация) – традиционно перенимает инновационные подходы развития из сферы здравоохранения. В настоящее время недостаточно изучены вопросы применения технологий ИИ в реабилитации инвалидов с учетом особенностей реабилитационных мероприятий для различных пациентов, что определяет актуальность данного исследования.

Цель работы – проанализировать публикационный поток зарубежных исследований по теме применения технологий ИИ в реабилитации инвалидов и выявить наиболее используемые методы ИИ для последующего внедрения в практику.

На международном уровне в медицине существуют требования к проведению анализа результатов исследований, описанных в руководстве *PRISMA* (<https://www.prisma-statement.org/prisma-2020>), которые учитывают принципы доказательной медицины. Такой анализ обычно оформляется в виде систематического обзора (*Systematic Review*) или мета-анализа (*Meta-Analysis*). Исследования, попавшие в систематический обзор, тщательно проверяются, проходят строгий отбор и, поэтому,

отвечают высокому уровню доказательности, и тем самым подтверждают свою эффективность. Поскольку в сфере реабилитации инвалидов подобные принципы доказательности еще не разработаны, а сфера медицины является смежной, для проведения анализа публикационного потока зарубежных исследований по теме применения технологий ИИ в реабилитации инвалидов можно опираться на алгоритм анализа, разработанный для обзора публикаций в медицинской сфере.

Материалы и методы

Большое количество исследований по реабилитации инвалидов можно найти в международной базе данных (БД) *PubMed*. Поиск публикаций был проведен по комбинации ключевых слов «*artificial intelligence AND disability*» за весь период. Было выявлено, что активный рост популярности тематики зарегистрирован с 2019 года, поэтому для анализа публикационного потока взят период за последние полные 5 лет с января 2019 по декабрь 2023 года.

Анализ публикации был запланирован в несколько этапов:

- отсеивание публикаций с помощью фильтров *PubMed* (среди результатов поиска в *PubMed* за последние 5 лет были выбраны только систематические обзоры, мета-анализы и рандомизированные контролируемые испытания);
- отбор публикаций, полностью соответствующих тематике, на основе прочтения аннотаций и полноразмерных текстов статей.

Результаты и обсуждение

По результатам анализа публикаций, содержащихся в БД доказательных медицинских исследований *PubMed* за последние 5 лет (2019–2023 гг.) по запросу «*Artificial Intelligence AND disability*» представлено 1636 публикаций (Рисунок 1).

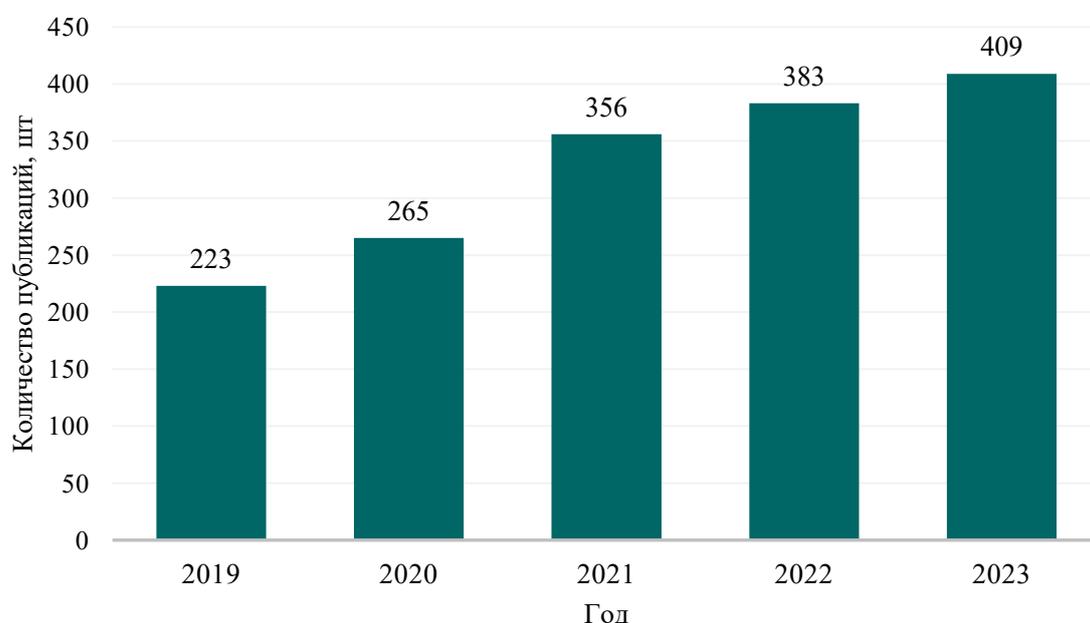


Рисунок 1 – Количество публикаций в разбивке по годам в БД *PubMed* по теме «ИИ в реабилитации»

Figure 1 – Number of publications by year in the *PubMed* database on the topic “AI in rehabilitation”

Для последующего анализа публикационного потока из 1636 публикаций в БД *PubMed* было отобрано в два этапа сначала 300 публикаций, подходящих по теме к использованию ИИ в реабилитации, из которых после детального изучения было отобрано 52 по принципу акцентирования внимания на систематических обзорах, мета-анализах и рандомизированных контролируемых испытаниях рандомизированных клинических исследованиях. Попытки классифицировать 52 публикации привели к выделению 4 групп применения технологий ИИ в реабилитации с их разбивкой (1) по нозологиям, (2) по методам обработки информации, (3) по техническим решениям для задач реабилитации, (4) по областям применения в комплексной реабилитации (рисунок 2). Стоит отметить, что такое разделение условное, и ни один из приведенных методов обработки информации не исключает другой. Методы опорных векторов и случайного леса могут применяться в рамках машинного обучения, нейросетей и глубокого обучения, поэтому отдельно в схеме они не представлены, но будут описаны ниже в комбинации с более крупными методами обработки информации.

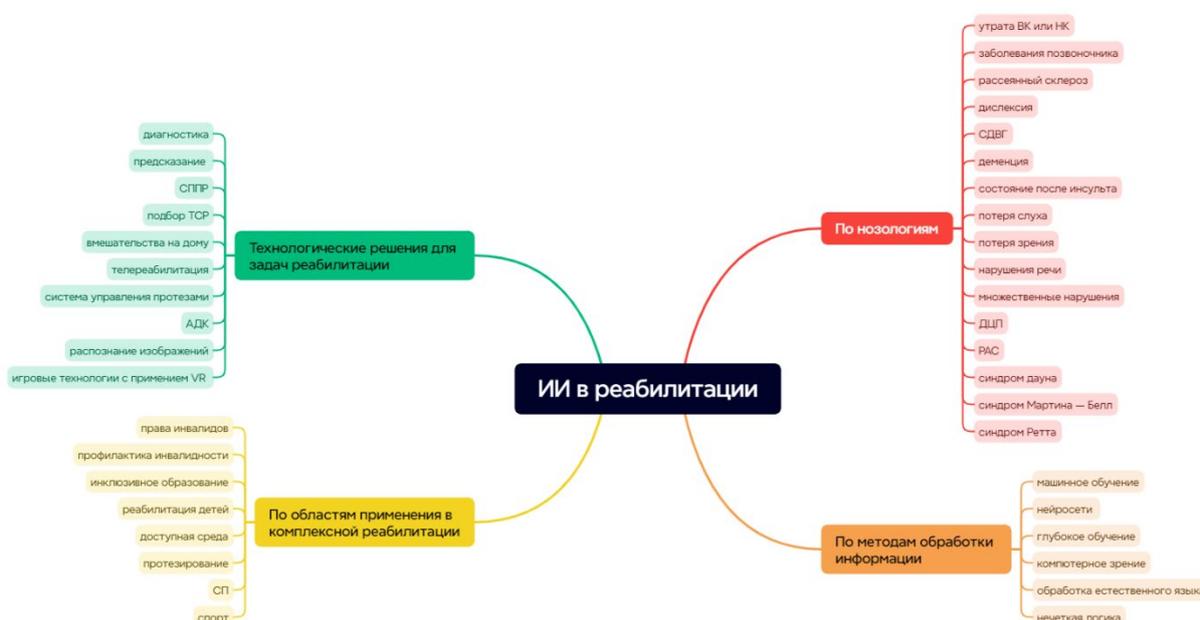


Рисунок 2 – Схема распределения применяемых технологий искусственного интеллекта в реабилитации инвалидов в зарубежном опыте

СППР – система поддержки принятия решений; ТСР – технические средства реабилитации;

АДК – альтернативная и дополненная коммуникация; VR – технология виртуальной реальности; СП – сопровождаемое проживание; ВК – верхние конечности; НК – нижние конечности; СДВГ – синдром дефицита внимания и гиперактивности; ДЦП – детский церебральный паралич; РАС – расстройство аутистического спектра.

Figure 2 – Distribution scheme of artificial intelligence technologies used in the rehabilitation of people with disabilities in foreign experience

DSS – decision support system; TMR – technical means of rehabilitation; AAC – alternative and augmented communication; VR – virtual reality; AL – assisted living; UE – upper extremities; LE – lower extremities; ADHD – attention deficit hyperactivity disorder; CP – cerebral palsy; ASD – autism spectrum disorder.

Все анализируемые публикации имеют больше медицинский характер, чем технический: в них описывается больше практическое применение технологий ИИ в медицине и реабилитации, а не техническая составляющая процесса разработки ИИ. Однако, был проведен анализ имеющихся данных о методах обработки информации с

технической точки зрения. В данной статье описаны случаи использования технологий ИИ в разбивке преимущественно по двум категориям: методам обработки информации и технологическим решениям для задач реабилитации; поскольку нами рассматривается применение ИИ в реабилитации инвалидов в первую очередь с технической точки зрения, а не с медицинской.

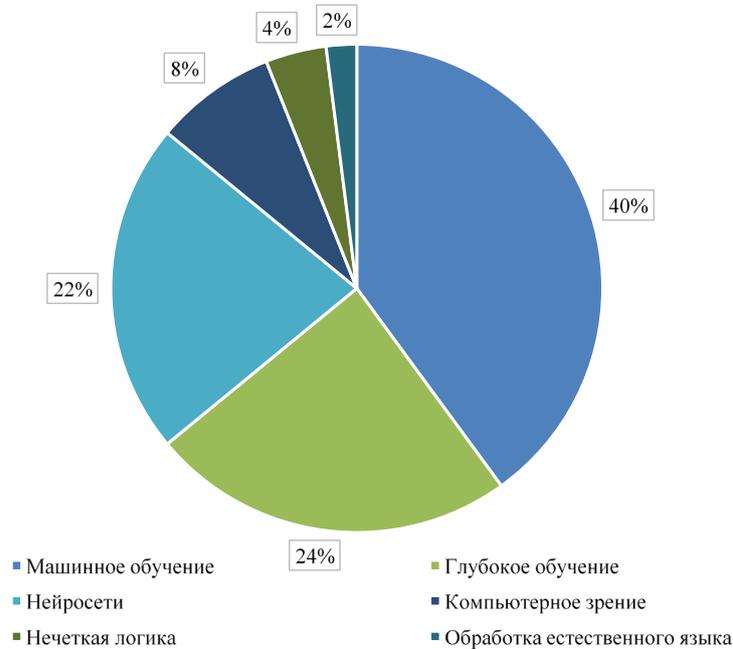


Рисунок 3 – Распределение зарубежных публикаций по упоминанию методов обработки информации

Figure 3 – Distribution of foreign publications by mention of information processing methods

Среди методов технологий искусственного интеллекта в разбивке по способу обработки информации одними из основных, согласно проведенному анализу публикационного потока, оказались методы машинного обучения, глубокого обучения и нейронных сетей в различных сочетаниях. Несмотря на то, что глубокое обучение является подвидом машинного обучения, они были рассмотрены отдельно в связи с распределением таким образом публикаций по ключевым словам. Такое распределение может быть связано с особенностью работы методов машинного и глубокого обучения. Аппарат работы машинного обучения преимущественно используется в математической статистике, а глубокое обучение направлено на работу с нелинейными зависимостями. Одновременно с этим нейронные сети являются инструментом для обоих методов, однако могут быть использованы как отдельный метод анализа данных. При использовании методов машинного обучения в большинстве случаев необходимо предварительно извлекать признаки из набора данных, а в методах глубокого обучения извлечение признаков выполняется самой сетью.

Самым предпочитаемым методом обработки информации стал метод машинного обучения (20 упоминаний из 52 публикаций). Такое частое упоминание машинного обучения в первую очередь обусловлено тем, что этот термин используют в качестве ключевого (поискового) слова, когда речь идет о глубоком обучении, поскольку зачастую второй метод является более частным случаем применения первого.

Машинное обучение используют для создания различных ассистивных технологий для людей с инвалидностью:

- интернета вещей на основе ИИ [6];
- различных ассистивных устройств для обучения детей с нарушениями развития [7];
- систем по распознаванию объектов (лиц, эмоций на лице, движения губ и движений тела человека) [6,8];
- систем контроля протезов верхних конечностей [9].

Системы по распознаванию объектов используются для создания ассистивных устройств в рамках сопровождаемого проживания [8], а в комбинации с методами случайного леса и опорных векторов – для инструментов альтернативной и дополненной коммуникации с применением [10].

Также машинное обучение применяют для диагностики при хронической боли в спине [11] и при сочетанных заболеваниях и нарушениях развития у детей [12].

Отдельной областью применения машинного обучения можно считать разработку систем по предотвращению травм на рабочем месте: прогноз травматизации в рамках одного предприятия, стоимость одного случая получения травмы, анализ человеческого фактора при риске травмирования на рабочем месте, профессиональная реабилитация (возвращение к работе после травмы) [13–14].

Более того машинное обучение в совокупности с нейронными сетями и методом случайного леса использовали для предсказания инвалидности среди людей пожилого возраста [15]; для диагностики, предсказания и поддержки принятия решений в предоставлении мероприятий по физической и реабилитационной медицине [16]. В последнем дополнительно использовался метод опорных векторов.

В сочетании с глубоким обучением машинное обучение используется для предсказания и классификации нарушений у детей с проблемами в обучаемости [17], а при дополнении этих двух методов методом нечеткой логики – для разработки систем поддержки принятия решений при постинсультных состояниях [18].

Глубокое обучение упоминается 12 раз в отобранных публикациях. Этот метод также используется либо самостоятельно, либо в комбинации с нейронными сетями [8, 19, 20], компьютерным зрением [21] и обработкой естественного языка [22].

Самостоятельно метод глубокого обучения чаще всего встречается для различных систем распознавания изображений:

- распознавание движений и жестов человека в системе интернета медицинских вещей для автоматизированного и умного мониторинга показателей здоровья человека [8];
- распознавание речи для повышения эффективности речевой терапии в рамках телереабилитации [23];
- распознавание движений кисти с помощью ассистивного устройства «умная ручка» для оценки и мониторинга нарушения письма у детей [24];
- распознавание рукописных изображений для оценки и мониторинга нарушения письма у детей [17].

Глубокое обучение в комбинации с нейросетями применяется для распознавания движений рта и эмоций в качестве ассистивной технологии для людей с нарушениями зрения [8] и для предсказания динамики нарушений при рассеянном склерозе с применением метода случайного леса [20].

Глубокое обучение в сочетании с компьютерным зрением используется для прохождения программы по физической реабилитации самостоятельно на дому: система считывает положения скелета, оценивается корректность выполнения упражнений [21]. Совместное использование трех методов (глубокого обучения, нейросетей и

компьютерного зрения) было описано в исследовании по диагностике и лечению боли в пояснично-крестцовом отделе [19].

В разработке ассистивных технологий также применяется глубокое обучение вместе с методом обработки естественного языка для обеспечения альтернативной и дополненной коммуникации для детей с нарушениями слуха, зрения или речи [22]. Данное исследование – единственное, в котором упоминается применение методом обработки естественного языка.

Реабилитационные технологии на основе нейронных сетей были описаны в 11 исследованиях. Отдельно нейросети в основном используются в разработке ассистивных устройств для малоподвижных людей. Системы распознавания движений головы, моргания глаз и движений рта позволяют инвалиду с серьезными травмами позвоночника контролировать и использовать цифровые домашние устройства, в том числе компьютер, и играть в видео игры [8, 25]. Сверточная нейронная сеть преобразует движения головы в фактические координаты мыши, подтверждает или отменяет команды количеством моргания глаз. Другое исследование предоставило результаты создания робота с двумя руками на основе нейросети, который может оказать помощь при одевании [26].

Более того, нейросети совместно с методом нечеткой логики могут использоваться для раннего прогнозирования болезней Паркинсона и Альцгеймера [27], а в комбинации с компьютерным зрением нейросети применяются для распознавания лиц на видео [8].

Компьютерное зрение упоминалось в публикациях всего 4 раза, три из которых были описаны ранее в совместном использовании с другими методами обработки информации. Четвертое исследование описывает применение компьютерного зрения и дополненной реальности для разработки умной, управляемой мозгом кресло-коляски, которая распознает окружающую среду и предлагает смену режима управления с полуавтоматического на автоматический и наоборот, когда это необходимо [28].

Данный анализ публикационного потока по использованию ИИ был проведен в рамках стратегического развития технологий ИИ в сфере реабилитации инвалидов на базе ФГБУ ФНОЦ МСЭ и Р им. Г.А. Альбрехта Минтруда России (Центра Альбрехта). На данный момент запланировано проведение работы по нескольким направлениям:

- разработка системы поддержки принятия решений для специалистов медико-социальной экспертизы;
- оптимизации путем автоматизации изготовления протезов верхних и нижних конечностей.

Для определения научной базы в рамках первого направления отобранные 52 публикации были рассмотрены на предмет описания любых систем поддержки принятия решений. Было выявлено 8 исследований по данной тематике [6, 14, 16, 18, 29–31].

В рамках направления автоматизации изготовления протезов верхних и нижних конечностей рассматривается проблематика изготовления протезов конечностей с точки зрения автоматизации и предпосылки применения технологий искусственного интеллекта для оптимизации процессов работы с цифровыми моделями при изготовлении индивидуальных приемных гильз протезов конечностей [32–34].

Заключение

Анализируя зарубежный публикационный поток в области применения технологий искусственного интеллекта для реабилитации инвалидов, можно сделать вывод, что за последние 5 лет значительно увеличилось количество разработок и применения интеллектуальных систем в реабилитации.

Среди методов технологий искусственного интеллекта в разбивке по способу обработки информации одними из основных, согласно проведенному анализу публикационного потока, оказались методы машинного обучения, глубокого обучения и нейронных сетей в различных сочетаниях. Чаще всего эти методы применяются для создания систем диагностики заболеваний, скрининга, мониторинга показателей здоровья и предсказания (на основе машинного обучения) и систем поддержки принятия (врачебных) решений (на основе нейронных сетей).

Отдельного внимания заслуживает применение машинного обучения для разработки систем по предотвращению травм на рабочем месте (прогноз травматизации рабочего состава в рамках одной организации, стоимость одного случая получения травмы на рабочем месте, анализ человеческого фактора при риске травмирования на рабочем месте, профессиональная реабилитация инвалидов). Такие практики чаще всего получают распространение в коммерческих организациях, ввиду их непосредственной заинтересованности снижения любых расходов. Однако, целесообразно рассмотреть данный вопрос на уровне внедрения в нормативное правовое поле для дальнейшего обязательного применения в государственных бюджетных предприятиях.

Описанные методы обработки информации имеют высокий потенциал применения в реабилитации инвалидов в сферах медико-социальной экспертизы, составления индивидуальных реабилитационных программ и мониторинга эффективности реабилитационных мероприятий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Noorbakhsh-Sabet N., Zand R., Zhang Y., Abedi V. Artificial Intelligence Transforms the Future of Health Care. *The American Journal of Medicine*. 2019;132(7):795–801. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.01.017>
2. Patel V.L., Shortliffe E.H., Stefanelli M., Szolovits P., Berthold M.R., Bellazzi R., Abu-Hanna A. The coming of age of artificial intelligence in medicine. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2009;46(1):5–17. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2008.07.017>
3. Gómez-González E., Gómez E. *Artificial Intelligence in Medicine and Healthcare: applications, availability and societal impact*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2020. 88 p.
4. Ahuja A.S. The impact of artificial intelligence in medicine on the future role of the physician. *PeerJ*. 2019;7. <https://doi.org/10.7717/peerj.7702>
5. Ramesh A.N., Kambhampati C., Monson J.R.T., Drew P.J. Artificial intelligence in medicine. *Annals of The Royal College of Surgeons of England*. 2004;86(5):334–338.
6. De Freitas M.P., Piai V.A., Farias R.H., Fernandes A.M.R., De Moraes Rossetto A.G., Leithardt V.R.Q. Artificial Intelligence of Things Applied to Assistive Technology: A Systematic Literature Review. *Sensors*. 2022;22(21). <https://doi.org/10.3390/s22218531>
7. Barua P.D., Vicnesh J., Gururajan R., Oh S.L., Palmer E., Azizan M.M., Kadri N.A., Acharya U.R. Artificial Intelligence Enabled Personalised Assistive Tools to Enhance Education of Children with Neurodevelopmental Disorders—A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph19031192>
8. Domingo M.C. An Overview of Machine Learning and 5G for People with Disabilities. *Sensors*. 2021;21(22). <https://doi.org/10.3390/s21227572>
9. Krasoulis A., Vijayakumar S., Nazarpour K. Multi-Grip Classification-Based Prosthesis Control With Two EMG-IMU Sensors. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2020;28(2):508–518. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2959243>

10. Herbuela V.R.D.M., Karita T., Furukawa Y., Wada Y., Toya A., Senba S., Onishi E., Saeki T. Machine learning-based classification of the movements of children with profound or severe intellectual or multiple disabilities using environment data features. *PLoS ONE*. 2022;17(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269472>
11. Soin A., Hirschbeck M., Verdon M., Manchikanti L. A Pilot Study Implementing a Machine Learning Algorithm to Use Artificial Intelligence to Diagnose Spinal Conditions. *Pain Physician*. 2022;25(2):171–178.
12. Gupta C., Chandrashekar P., Jin T., He C., Khullar S., Chang Q., Wang D. Bringing machine learning to research on intellectual and developmental disabilities: taking inspiration from neurological diseases. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*. 2022;14(1). <https://doi.org/10.1186/s11689-022-09438-w>
13. Cheng A.S.K., Ng P.H.F., Sin Z.P.T., Lai S.H.S., Law S.W. Smart Work Injury Management (SWIM) System: Artificial Intelligence in Work Disability Management. *Journal of Occupational Rehabilitation*. 2020;30(3):354–361. <https://doi.org/10.1007/s10926-020-09886-y>
14. Gross D.P., Steenstra I.A., Harrell Jr F.E., Bellinger C., Zaïane O. Machine Learning for Work Disability Prevention: Introduction to the Special Series. *Journal of Occupational Rehabilitation*. 2020;30(3):303–307. <https://doi.org/10.1007/s10926-020-09910-1>
15. Saarela M., Ryyänen O.-P., Äyrämö S. Predicting hospital associated disability from imbalanced data using supervised learning. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2019;95:88–95. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2018.09.004>
16. Santilli V. Application of machine learning techniques to physical and rehabilitative medicine. *Annali di Igiene*. 2022;34(1):79–83.
17. Devi A., Kavya G. Dysgraphia disorder forecasting and classification technique using intelligent deep learning approaches. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*. 2023;120. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2022.110647>
18. Luvizutto G.J., Silva G.F., Nascimento M.R., Sousa Santos K.C., Appelt P.A., De Moura Neto E., De Souza J.T., Wincker F.C., Miranda L.A., Hamamoto Filho P.T., De Souza L.A.P.S., Simões R.P., De Oliveira Vidal E.I., Bazan R. Use of artificial intelligence as an instrument of evaluation after stroke: a scoping review based on international classification of functioning, disability and health concept. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2022;29(5):331–346. <https://doi.org/10.1080/10749357.2021.1926149>
19. D'Antoni F., Russo F., Ambrosio L., Vollero L., Vadalà G., Merone M., Papalia R., Denaro V. Artificial Intelligence and Computer Vision in Low Back Pain: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph182010909>
20. Roca P., Attye A., Colas L., Tucholka A., Rubini P., Cackowski S., Ding J., Budzik J.-F., Renard F., Doyle S., Barbier E.L., Bousaid I., Casey R., Vukusic S., Lassau N., Verclytte S., Cotton F.; OFSEP Investigators; Steering Committee; Investigators; Imaging group. Artificial intelligence to predict clinical disability in patients with multiple sclerosis using FLAIR MRI. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2020;101(12):795–802. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2020.05.009>
21. Sardari S., Sharifzadeh S., Daneshkhah A., Nakisa B., Loke S.W., Palade V., Duncan M.J. Artificial Intelligence for skeleton-based physical rehabilitation action evaluation: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine*. 2023;158. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2023.106835>
22. Zdravkova K., Krasniqi V., Dalipi F., Ferati M. Cutting-edge communication and learning assistive technologies for disabled children: An artificial intelligence

- perspective. *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2022;5. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.970430>
23. Mulfari D., La Placa D., Rovito C., Celesti A., Villari M. Deep learning applications in telerehabilitation speech therapy scenarios. *Computers in Biology and Medicine*. 2022;148. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105864>
 24. Bublin M., Werner F., Kerschbaumer A., Korak G., Geyer S., Rettinger L., Schönthaler E., Schmid-Kietreiber M. Handwriting Evaluation Using Deep Learning with SensoGrip. *Sensors*. 2023;23(11). <https://doi.org/10.3390/s23115215>
 25. Luu D.K., Nguyen A.T., Jiang M., Drealan M.W., Xu J., Wu T., Tam W.-K., Zhao W., Lim B.Z.H., Overstreet C.K., Zhao Q., Cheng J., Keefer E.W., Yang Z. Artificial Intelligence Enables Real-Time and Intuitive Control of Prostheses via Nerve Interface. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2022;69(10):3051–3063. <https://doi.org/10.1109/TBME.2022.3160618>
 26. Zhang F., Demiris Y. Learning garment manipulation policies toward robot-assisted dressing. *Science Robotics*. 2022;7(65). <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abm6010>
 27. Malcangi M. AI-Based Methods and Technologies to Develop Wearable Devices for Prosthetics and Predictions of Degenerative Diseases. In: *Artificial Neural Networks*. New York: Humana; 2021. pp. 337–354. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0826-5_17
 28. Liu K., Yu Y., Liu Y., Tang J., Liang X., Chu X., Zhou Z. A novel brain-controlled wheelchair combined with computer vision and augmented reality. *BioMedical Engineering OnLine*. 2022;21(1). <https://doi.org/10.1186/s12938-022-01020-8>
 29. Takahashi S., Nonomiya Y., Terai H., Hoshino M., Ohyama S., Shintani A., Nakamura H. Artificial intelligence model to identify elderly patients with locomotive syndrome: A cross-section study. *Journal of Orthopaedic Science*. 2023;28(3):656–661. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2022.01.010>
 30. Cingolani M., Scendoni R., Fedeli P., Cembrani F. Artificial intelligence and digital medicine for integrated home care services in Italy: Opportunities and limits. *Frontiers in Public Health*. 2023;10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1095001>
 31. Ran M., Banes D., Scherer M.J. Basic principles for the development of an AI-based tool for assistive technology decision making. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2022;17(7):778–781. <https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1817163>
 32. Щербина К.К., Буров Г.Н., Голубева Ю.Б., Головин М.А., Марусин Н.В. Об актуальности внедрения автоматизации технологий цифрового производства протезно-ортопедических изделий. В сборнике: *Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: Материалы XIV международной научно-практической конференции: Том 2, 19–20 декабря 2017 года, Норт-Чарлстон, США*. Норт-Чарлстон: CreateSpace; 2017. С. 73–75.
Shcherbina K.K., Burov G.N., Golubeva Yu.B., Golovin M.A., Marusin N.V. Ob aktual'nosti vnedreniya avtomatizatsii tekhnologii tsifrovogo proizvodstva protezno-ortopedicheskikh izdelii. In: *Topical areas of fundamental and applied research XIV: Volume 2, 19–20 December 2017, North Charleston, USA*. North Charleston: CreateSpace; 2017. pp. 73–75. (In Russ.).
 33. Суфэльфа А.Р., Каплун Д.И. Исследование методов предварительной обработки электронно-геометрической модели культи нижней конечности. *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2023;16(3):37–45. <https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-3-37-45>
Sufelfa A.R., Kaplun D.I. Analysis of Methods for Preliminary Processing of Digital Geometric Models of the Lower Limb Stump. *Izvestiya SPbGETU "LETI" = LETI*

- Transactions on Electrical Engineering & Computer Science*. 2023;16(3):37–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-3-37-45>
34. Марусин Н.В., Головин М.А., Суфельфа А.Р. Результаты испытания макетов приемных гильз протезов голени и бедра, изготовленных по инновационной технологии трехмерной печати для раннего протезирования пострадавших от травм и неотложных состояний. В сборнике: *Четвёртый всероссийский конгресс с международным участием: Медицинская помощь при травмах и неотложных состояниях в мирное и военное время. Новое в организации и технологиях: Сборник тезисов, 15–16 февраля 2019 года, Санкт-Петербург, Россия*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская общественная организация «Человек и его здоровье»; 2019. С. 156–157.
- Marusin N.V., Golovin M.A., Sufel'fa A.R. Rezul'taty ispytaniya maketov priemnykh gil'z protezov goleni i bedra, izgotovlennykh po innovatsionnoi tekhnologii trekhmernoii pechati dlya rannego protezirovaniya postradavshikh ot travm i neotlozhnykh sostoyanii. In: *Chetvertyi vserossiiskii kongress s mezhdunarodnym uchastiem: Meditsinskaya pomoshch' pri travmakh i neotlozhnykh sostoyaniyakh v mirnoe i voennoe vremya. Novoe v organizatsii i tekhnologiyakh: Sbornik tezisev, 15–16 February 2019, Saint Petersburg, Russia*. Saint Petersburg: Saint Petersburg Non-governmental organization "People & Health"; 2019. pp. 156–157. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Суфельфа Алиса Родионовна, соискатель ученой степени, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина); руководитель лаборатории инновационных и реабилитационно-экспертных технологий, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации имени Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Российская Федерация.
e-mail: sufelfick@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5672-7290>

Alisa R. Sufelfa, degree applicant, Saint Petersburg Electrotechnical University; head of the Laboratory of Innovative, Rehabilitation and Expert Technologies in the Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation, Saint Petersburg, the Russian Federation.

Петрищева Кристина Николаевна, научный сотрудник лаборатории инновационных и реабилитационно-экспертных технологий, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации имени Г.А. Альбрехта; аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация.
e-mail: rozhkokris@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3207-7243>

Kristina N. Petrishcheva, researcher of the Laboratory of Innovative, Rehabilitation and Expert Technologies in the Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation; postgraduate, Saint Petersburg University, Saint Petersburg, the Russian Federation.

Щербина Константин Константинович, заместитель генерального директора – директор Института протезирования и ортезирования, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной

Konstantin K. Shcherbina, deputy director general – director of the Institute of Prosthetics and Orthotics, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social

экспертизы и реабилитации имени Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

e-mail: shcherbina180@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7579-0113>

Пономаренко Геннадий Николаевич, генеральный директор, Федеральный научно-образовательный центр медико-социальной экспертизы и реабилитации имени Г.А. Альбрехта; заведующий кафедрой физической и реабилитационной медицины, Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

e-mail: reabin@center-albreht.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7853-4473>

Expertise and Rehabilitation, Saint Petersburg, the Russian Federation.

Gennadii N. Ponomarenko, director general, Albrecht Federal Scientific and Educational Centre of Medical and Social Expertise and Rehabilitation; head of the department of physical and rehabilitation medicine, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 30.07.2024; одобрена после рецензирования 13.09.2024; принята к публикации 18.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024; approved after reviewing 13.09.2024; accepted for publication 18.09.2024.