

© ЛАЗАРЕВ А. В., КАЛИНИНСКАЯ А. А., 2024  
УДК 614.2**Лазарев А. В., Калининская А. А.****ЦИФРОВОЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИЕ (СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)**

ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н. А. Семашко» Минобрнауки России, 105064, г. Москва

*В статье представлен систематический обзор отечественной и иностранной литературы, касающейся стратегии развития цифрового общества, определений и понятий цифровых двойников в здравоохранении. Дан анализ развития цифровых двойников пациентов, использования в медицине цифровых двойников органов человека. Представлен опыт работы цифровых двойников в системе управления здравоохранением в нашей стране и за рубежом.*

*Ключевые слова:* цифровой двойник; цифровой двойник пациента; цифровое здравоохранение; цифровые технологии.

*Для цитирования:* Лазарев А. В., Калининская А. А. Цифровое здравоохранение и цифровые двойники как его составляющие (систематический обзор). Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2024;32(3):318–324. DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2024-32-3-318-324>

*Для корреспонденции:* Калининская Алефтина Александровна, д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела исследований общественного здоровья ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н. А. Семашко» Минобрнауки России, e-mail: [akalininskaya@yandex.ru](mailto:akalininskaya@yandex.ru)

**Lazarev A. V., Kalininskaya A. A.****THE DIGITAL HEALTH CARE AND DIGITAL TWINS AS ITS COMPONENTS: THE SYSTEMATIC REVIEW**

N. A. Semashko National Research Institute of Public Health, 105064, Moscow, Russia

*The article presents systematic review of National and foreign publications concerning strategy of digital society development, definitions and concepts of digital twins in health care. The analysis of development of digital twins of patients and application of digital twins of human organs in medicine is presented. The experience of digital twins functioning in health care management system in Russia and abroad is presented.*

*Keywords:* digital twin; patient; digital health care; digital technologies.

*For citation:* Lazarev A. V., Kalininskaya A. A. The digital health care and digital twins as its components: The systematic review. *Problemi socialnoi gigieni, zdravookhraneniya i istorii meditsini.* 2024;32(3):318–324 (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2024-32-3-318-324>

*For correspondence:* Kalininskaya A. A., doctor of medical sciences, professor, the Chief Researcher of the Federal State Budget Scientific Institution The N. A. Semashko National Research Institute of Public Health of the Minobrnauka of Russia. e-mail: [akalininskaya@yandex.ru](mailto:akalininskaya@yandex.ru)

*Conflict of interests.* The authors declare absence of conflict of interests.

*Acknowledgment.* The study had no sponsor support.

Received 22.12.2023

Accepted 27.03.2024

Понятие «цифровой двойник» (ЦД), или «цифровые близнецы», впервые дано Дэвидом Гелернтером [1]. М. Grievens [2] определил концептуальную модель ЦД на производстве, так называемую зеркальную пространственную модель.

«Цифровой двойник», или «цифровой близнец» (digital twin), — это цифровая копия процесса, объекта или услуги. Цель digital twins — моделирование физического объекта в виртуальном пространстве [3].

Профессор Мичиганского университета Майкл Гривс (Michael Grieves) в 2002 г. определил три основные части ЦД: физический продукт, виртуальный продукт и данные информации, которые их объединяют [2].

А. Прохоров и М. Лысачев [4] определяют ЦД как компьютерный прообраз объекта, который, учитывая имеющуюся информацию, распределенную по установленным алгоритмам, может прогнозировать поведение своей физической копии и при

этом способен корректировать потенциальные сбои.

Разработка ЦД в России проводится в рамках TechNet Национальной технологической инициативы.

Согласно дорожной карте «Национальная технологическая инициатива», до 2024 г. 250 российских предприятий будут использовать ЦД, при этом затраты на их организацию составят 145 млрд руб. [5]

В Указе Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «Стратегия развития информационного общества в РФ на 2017—2030 гг.» [6] определено развитие цифровизации в различных отраслях экономики. Национальный консорциум «Цифровое здравоохранение» в 2018 г. включил разработку ЦД в здравоохранении [7].

В здравоохранении используются следующие понятия и дефиниции: «цифровой двойник», «виртуальная модель пациента (органа)», «цифровой профиль пациента», «аватар пациента» [8].

Здоровье и общество

L. Craft и M. Jones [9] отмечают активизацию интереса к «цифровым двойникам в здравоохранении». ЦД в здравоохранении активно внедряются в разных сферах деятельности [10]. По мнению ряда исследователей, ЦД в системе здравоохранения можно использовать в трех направлениях: персонализированная медицина, внедрение новых лекарственных препаратов и совершенствование медицинских устройств, координация бизнес-процессов в медицинской организации [11, 12].

В 2021 г. Минздравом России была инициирована цифровизация в рамках проекта модернизации первичного звена в здравоохранении. Цифровизация здравоохранения предполагает внесение всех данных о пациенте в единый цифровой ресурс [13]. Внедрение цифровых технологий требует реформирования состава медицинских кадров и их подготовки. Это уже используется в рамках университетского кластера Московского физико-технического института и нуждается в активизации его применения [14, 15].

В России создается «Центр апробации и акселерации цифровых технологий в здравоохранении», участники разработки — Ассоциация «Национальная база медицинских знаний» совместно с ФГБНУ «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н. А. Семашко» при участии Центра научно-технической информации Московского физико-технического института (ЦНТИ МФТИ) и негосударственный институт развития «Иннопрактика». Задачи центра — помощь разработчикам с момента оформления идеи до выхода готового продукта [16].

В настоящее время ЦД используется в разных сегментах медицины. В 2018 г. в меморандуме создания национального консорциума «Цифровое здравоохранение» определена разработка ЦД человека, а также соответствующих стандартов для его реализации.

В отчете результатов проекта DISCIPULUS отмечено, что создание ЦД человека требует комплексных междисциплинарных исследований в области математики, биомедицины, биоинженерии, компьютеризации, для чего необходимы значительные финансовые и ресурсные затраты [17].

Н. Lehrach и соавт. [18] разработали систему моделирования биологии пациента, а также лечения и профилактики заболеваний с использованием ЦД. Исследователи проводили сравнение физического статуса пациента с геномом человека (Human Genome Project, HGP) [19]. Представлена модель ЦД пациента, которая автоматически определяет физиологию состояния пациента. Платформа сканирует тело пациента и обеспечивает управление данными, что позволяет определить организацию более доступной профилактической медицинской помощи [20].

ЦД конкретного пациента включает набор сведений: генетические тесты, обследования, лабораторные тесты и др. ЦД пациента использует программное обеспечение в автоматизированных инсулино-

вых помпах, в кардиостимуляторах, в приборах для исследования мозга [21].

ЦД пациента может быть использован для оценки его предрасположенности к заболеванию, для разработки рекомендаций по снижению риска возникновения заболевания, а также для ранней диагностики патологического процесса [22]. Анализ ЦД больших групп пациентов позволит определить риски развития заболеваний (генетические, экологические и поведенческие) и разрабатывать индивидуальные «дорожные карты здоровья», а также перейти к превентивной и профилактической системе здравоохранения [23]. ЦД человека может быть использован для прогнозирования угроз здоровью с применением моделирования рисков угроз опасных ситуаций, определения уровня допустимых концентраций вредных веществ, радиации, при этом выносятся предупреждения и рекомендации по их устранению [4].

Внедрение некоторых дорогостоящих технологий в клиническую практику может дать гипердиагностику и избыточные манипуляции, отрицательное влияние на стоимость и результативность лечения [24]. ЦД предоставляет базовую оперативную информацию и позволяет определять приоритет взаимодействия пациента с врачами [25]. Цифровую модель двойника пациента возможно использовать для моделирования медицинских процедур с целью определения оптимальных методов лечения пациента. В условиях госпиталя создается «виртуальный близнец» пациента, на котором моделируют варианты лечения. После госпитализации в домашних условиях пациент использует устройства для контроля показателей своего здоровья [17].

Поисковая система «Дифференцированное лечение» позволяет ускорить выбор персонализированной терапии для пациента и минимизировать риски, связанные в лекарственным взаимодействием. Преимуществом перевода клинических рекомендаций на цифровизацию является возможность избежать рутинной работы с информацией о пациенте и больше времени уделить лечению [26]. ЦД пациента предполагает строить более точный диагноз и выбирать персонализированное лечение с учетом коморбидностей пациентов [27].

Внедрение ЦД пациента требует изменения кадрового состава. Будут необходимы: врач-генетик, оператор медицинских роботов, архитектор медицинского оборудования и другие новые специалисты. Кроме того, потребуется новое понятие — «сетевой врач» [28].

Внедрение в систему здравоохранения цифровых технологий предполагает повышение эффективности медицинской помощи населению и улучшение качества жизни пациента [16, 29]. В исследовательских работах, касающихся ЦД, в основном приводятся физические данные построения ЦД. При этом медицинские данные могут быть дополнены сведениями о социальном поведении человека. А. Прохоров и М. Лысачев [4] отмечают, что в текущем десятилетии пациенты будут иметь возможность об-

щаться со своим ЦД по поводу поддержки здоровья.

Ряд исследовательских работ указывают на значимость использования ЦД в региональной системе здравоохранения — это перспективные системы, которые позволяют создавать цифровое сопряжение реальных объектов, отслеживать их состояние в динамике с целью разработки управленческих решений [30, 31]. Следует отметить, что активизация развития цифрового здравоохранения становится основой персонализированной медицины, при этом необходимо принятие общего стандарта обмена медицинскими данными.

За рубежом и в нашей стране накоплен определенный опыт использования ЦД органов человека. Французская компания Dassault Systèmes осуществила проект ЦД «Живое сердце» (Living Heart). Проект осуществлялся с международным сотрудничеством и включал более 95 медицинских организаций во всем мире [32].

Компанией Siemens Healthineers используются ЦД, что позволяет сократить время установки диагноза, осуществлять выбор терапевтических методов лечения. Компания осуществляет также разработку ЦД мозга и других органов [33].

Компанией Philips создана виртуальная модель сердца, полученная на основе изучения и анализа данных нескольких тысяч ультразвуковых исследований сердца пациентов [34]. Компанией «GPS-здоровье» осуществляются исследования по созданию ЦД сердца для лечения и моделирования сердечных вмешательств [35]. Создан ЦД человека с целью лечения и диагностики стенозов сонных артерий по вибрации головы [36, 37].

Проект компании «Живой мозг» проводит работу по изучению нейродегенеративных заболеваний мозга на его модели. Dassault Systèmes инициировала проекты развития ЦД легких, глаз, коленных суставов и других систем и органов [38]. Существует опыт использования цифровых близнецов для лечения рассеянного склероза [39, 40].

Накоплен опыт использования ЦД в онкологии с целью выбора оптимальных методов лечения и реабилитации пациентов [41]. Имеется опыт применения ЦД в лечении сахарного диабета [42, 43].

В Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) создан ЦД шеи, который позволяет эффективно планировать операции на щитовидной железе [44].

Пандемия COVID-19 определила значимость использования цифровых технологий для прогнозирования эпидемического процесса [45].

Весьма значим опыт использования нейронных имплантов для протезирования у слепых и слабовидящих, что дает возможность доступа к восприятию информации на основе сигналов, которые обычно недоступны для человека [46].

Следует отметить достижения развития цифрового здравоохранения и ЦД в Российской Федерации. В Национальном медицинском исследова-

тельном центре сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева и Научно-исследовательском институте скорой помощи им. Н. В. Склифосовского созданы ЦД сердца и сердечно-сосудистой системы. Осуществляется прогнозирование физического состояния пациента без его физического присутствия [4].

В Самарском политехническом институте в Центре «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство» разработан ЦД сердечно-сосудистой системы. В Зеленоградском инновационно-технологическом центре на базе Национального исследовательского университета «МИЭТ» (НИУ «МИЭТ»; бывший Московский институт электронной техники) осуществляется работа по созданию ЦД сердца и крупных сосудов. Моделирование ЦД проводится с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent [4].

В Первом Московском медицинском университете им. И. М. Сеченова организован научный центр «Цифровой биодизайн и персонализированное здравоохранение». Задачами центра является разработка ЦД для ранней диагностики и прогноза развития кардиологических и онкологических заболеваний. В Центре создана информационная платформа доклинических исследований в области онкологии и кардиологии [47].

В рамках проекта по модернизации первичного звена системы здравоохранения планируется создание ее ЦД. Как сообщил министр здравоохранения Михаил Мурашко, планируется создать ЦД пациента, что позволит формировать программы лечения и профилактики.

Однако при всей значимости перехода на цифровое здравоохранение в нашей стране отмечается недостаточность привлечения научных обществ к этой проблеме [48]. По числу публикаций в изданиях, индексируемых в WoS, ЦД в здравоохранении Российской Федерации занимают 35-е место в мире и 20-е место в числе заявок на изобретения и патенты, что не дает основания говорить о превосходстве достижений исследовательской работы в нашей стране на мировом уровне [49, 50].

В России еще не готовы в полной мере использовать цифровые технологии и ЦД пациента, но имеется опыт работы ЦД органов пациента. Фундаментальная база развития цифровых технологий и цифрового пациента будущего в России уже заложена [7].

Есть опыт работы ЦД с целью управления в системе здравоохранения. За рубежом накоплен определенный опыт работы ЦД управления «больницей». Университетом Южной Каролины Siemens Healthineers создан проект «управления госпиталем», включающий оптимизацию лечения пациентов с инсультом [51].

ЦД лаборатории может автоматизировать процессы лабораторных исследований, экспериментов [25]. ЦД используют для изучения побочных действий различных лекарственных препаратов и безопасности их комбинаций [52].

В Российской Федерации идет работа по созданию цифровых моделей (двойников) медицинских организаций. В паспорте «Стратегии цифровой трансформации здравоохранения РФ» определено создание ЦД в 96 тыс. медицинских учреждений. Цифровой профиль медицинской организации включает оснащение оборудованием и кадровое обеспечение, информацию о профессиональных компетенциях медработника и трудовой деятельности.

«Цифровой двойник медицинской организации» — это информационная система, которая содержит и позволяет отслеживать все необходимые данные о ней, включая лицензирование, аккредитацию медицинских работников, а также взаимодействие с другими информационными системами [53]. Цифровой профиль медицинской организации включает виды деятельности, кадровое обеспечение, оснащение оборудованием, информацию о профессиональных компетенциях и трудовой деятельности медицинского работника.

Имеется опыт работы ЦД на региональном уровне для управления маршрутизацией пациентов [54], а также с целью управления потоками пациентов в медицинской организации [55]. ЦД используются также для управления ресурсами в медицинских организациях [56].

Инициатива Минздрава России — создать не только единый Федеральный регистр медицинских работников (ФРМР), но и Национальную цифровую платформу «Здоровье», основная цель которой — формирование единой цифровой экосистемы, объединяющей клиники, медицинских работников и пациентов, а также обеспечение безопасности, конфиденциальности и надежности обработки медицинских данных. При этом необходимо обеспечение безопасности и корректности статистической информации обработки. Следует обучить врачей работе с новыми сервисами [53].

### Заключение

Стратегия цифровой трансформации и ЦД в здравоохранении в Российской Федерации расписана до 2030 г. [7], при этом фундаментальная база их развития уже заложена.

Исследование не имело спонсорской поддержки.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### ЛИТЕРАТУРА

- Gelernter D. Mirror Worlds: Or the Day Software Puts the Universe in A Shoebox. How It Will Happen and What It Will Mean; Oxford University Press. Oxford, UK: Oxford University Press; 1993.
- Grieves M., Vickers J. Origins of the digital twin concept. *Florida Institute of Technology* 8, 3-20, 2016. 288, 2016. doi: 10.13140/RG.2.2.26367.61609
- Kamel Boulos M. N., Zhang P. Digital Twins: From Personalised Medicine to Precision Public Health. *J. Pers. Med.* 2021 Jul 29;11(8):745. doi: 10.3390/jpm11080745
- Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Ред. А. Боровков. М.: АльянсПринт; 2020. 401 с.
- Сысоева Е. А. Национальный стандарт Российской Федерации в области цифровых двойников. *Компетентность. Competency (Russia)*. 2022;(3):10—3 doi: 10.24412/1993-8780-2022-3-10-13
- Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017—2030 годы». Режим доступа: <https://www.garant.ru/prod-ucts/ipo/prime/doc/71570570/>
- Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Официальный сайт. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/events/37934/> (дата обращения 10.12.2020).
- Braun M. Represent me: please! Towards an ethics of digital twins in medicine. *J. Med. Ethics.* 2021 Mar 15:medethics-2020-106134. doi: 10.1136/medethics-2020-106134. Epub ahead of print.
- Craft L., Jones M. Hype Cycle for Healthcare Providers, 2020. Gartner, 05.08.2020. Режим доступа: <https://www.gartner.com/en/documents/3988462>
- Наливайко Ю. А., Денисова Н. А. Анализ направлений использования технологии цифровых двойников в сфере здравоохранения. *Труды Института бизнес-коммуникаций.* 2021;(9):38—43.
- Лисогор Д. Виртуальные органы для спасения реальных жизней. Эксперт — о перспективах цифровых двойников. *RUSBASE*, 17.04.2020. Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/digital-twins/>
- Lutz A., Pfeiffer D. Humanizing medtech: The dawn of a digital twin. *Siemens-Healthineers*, 31.08.2021. Режим доступа: <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/humanizing-medtech PMC5816748/>
- Заседание Совета по государственной поддержке создания и развития научных центров мирового уровня. Портал Правительства России. 28.08.2020. Режим доступа: <http://government.ru/news/40291/>
- Мелерзанов А. В., Александрова О. Ю., Свистунов А. А. Подготовка кадров для цифрового здравоохранения. *Сеченовский вестник.* 2017;3(29):15—24.
- Мелерзанов А. В., Алмазов А. А., Трунин А. О., Римская Б. А., Александрова О. Ю. Подготовка кадров для цифрового здравоохранения и анализ стандартов. *Врач и информационные технологии.* 2020;(2):64—71.
- Мелерзанов А. В., Алмазов А. А., Иванова М. А., Шукурлаева Г. Е., Александрова О. Ю. Классификация цифровых технологий и их влияние на показатели здравоохранения. *Проблемы стандартизации в здравоохранении.* 2020;(5—6):3—9. doi: 10.26347/1607-2502202005-06003-009
- Erol T., Mendi A. F., Dogan D. The Digital Twin Revolution in Healthcare. Conference: 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). IEEE. 2020. doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9255249. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/347023987\\_The\\_Digital\\_Twin\\_Revolution\\_in\\_Healthcare](https://www.researchgate.net/publication/347023987_The_Digital_Twin_Revolution_in_Healthcare)
- Lehrach H., Ionescu A., Benhabiles N. The Future of Health Care: Deep Data, Smart Sensors, Virtual Patients and the Internet-of-Humans (White Paper-2016). Режим доступа: [https://docs.wixstatic.com/ugd/2b9f87\\_40d29af47a9742498cbbbd484e0174e0.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/2b9f87_40d29af47a9742498cbbbd484e0174e0.pdf)
- Björnsson B., Borrebaeck C., Elander N. Digital twins to personalize medicine. *Genome Med.* 2019;12(1):4. doi: 10.1186/s13073-019-0701-3
- Q Bio Announces First Clinical “Digital Twin” Platform and Novel Whole-Body Scanner, and Major Investment from Kaiser Foundation Hospitals. *Business Wire.* Режим доступа: <https://www.businesswire.com/news/home/20210429005437/en/Q-Bio-Announces-First-Clinical-“Digital-Twin”-Platform-and-Novel-Whole-Body-Scanner-and-Major-Investment-From-Kaiser-Foundation-Hospitals>
- Wiggers K. Unlearn.ai raises \$12 million to accelerate clinical trials with “digital twins”. *VentureBeat.* 20.04.2020. Режим доступа: <https://venturebeat.com/2020/04/20/unlearn-raises-12-million-to-accelerate-clinical-trials-with-digital-twins/>
- Мадалиев А., Иванов В. М. Аддитивные технологии и цифровые двойники: из промышленности в медицину. *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения.* 2019;14(1):229—34.
- Bruynseels K., de Sio F., van den Hoven J. Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm. *Front. Genet.* 2018. 13 Feb. Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2018.00031/full>
- Васильева Т. П., Мелерзанов А. В., Алмазов А. А., Васильев М. Д., Александрова О. Ю. Оценка инновационности технологий здоровьесбережения населения. *Врач и информационные технологии.* 2020;(2):6—20.

25. Lawton G. 21 ways medical digital twins will transform healthcare. VENTUREBEAT, 04.07.2021. Режим доступа: <https://venturebeat.com/2021/07/04/21-ways-medical-digital-twins-will-transform-healthcare/>
26. Якушин М. А., Горенков Р. В., Александрова О. Ю., Васильева Т. П., Якушина Т. И., Яроцкий С. Ю., Малахова А. Р. Клинические рекомендации: от буквы к цифре. *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2020;(5–6):31–6.
27. Тимашев П. С. Цифровой двойник в медицине. *Московская медицина*. 2022;1(47):72–5.
28. Геранин М. А. Влияние «цифровых двойников» на экономику общественного сектора. *Креативная экономика*. 2018;12(11):1733–57.
29. Калининская А. А., Лазарев А. В., Васильева Т. П., Кизеев М. В., Рассоха Д. В. Медико-социальная характеристика и оценка качества жизни пациентов с болезнями системы кровообращения. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2021;29(3):456–61. doi: 10.32687/0869-866X-2021-29-3-456-461
30. Калининская А. А., Бакирова Э. А., Кизеев М. В., Лазарев А. В., Шляфер С. И., Бальзамова Л. А. Научное обоснование предложений по совершенствованию медицинской помощи жителям села. *Менеджер здравоохранения*. 2023;(1):50–9.
31. Abramov V. I., Ostanina S. S., Vodolazhskaya E. L. The preconditions of economic management of problematic region in a federal state. *Int. Rev. Manag. Market*. 2016;6(2): 212–8.
32. Dassault Systèmes' Living Heart Project Reaches Next Milestones in Mission to Improve Patient Care. Dassault Systèmes, 18.10.2017. Режим доступа: <https://www.3ds.com/press-releases/single/dassault-systemes-living-heart-project-reaches-next-milestones-in-mission-to-improve-patient-care/>
33. Background Information. Erlang, Nov. 2018. Режим доступа: [www.siemens-healthineers.com](http://www.siemens-healthineers.com)
34. Cardiac 3D chamber quantifications driven by advanced automation. 01.06.2015. Режим доступа: <https://www.usa.philips.com/healthcare/resources/feature-detail/ultrasound-heartmodel>
35. The 3D printed “digital twin” of your heart that could save your life: AI system lets surgeons simulate surgery. Daily Mail Online, 01.09.2018. Режим доступа: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-6117623/Medtech-firms-gets-personal-digital-twins.html>
36. Camps J., Lawson B., Drovandi C., Minchola A., Wang Z. J., Grau V., Burrage K., Rodriguez B. Inference of ventricular activation properties from non-invasive electrocardiography. *Med. Image Anal.* 2021 Oct;73:102143. doi: 10.1016/j.media.2021.102143. Epub 2021 Jun 23.
37. Chakshu N. K., Carson J., Sazonov I., Nithiarasu P. A semi-active human digital twin model for detecting severity of carotid stenoses from head vibration-A coupled computational mechanics and computer vision method. *Int. J. Numer. Method Biomed. Eng.* 2019 May;35(5):e3180. doi: 10.1002/cnm.3180. Epub 2019 Feb 20.
38. Виртуальные органы и испытания лекарств: цифровые двойники в медицине. РБК. 10.09.2021. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613b35369a7947506473665e>
39. Voigt I., Inojosa H., Dillenseger A., Haase R., Akgiin K., Ziemssen T. Digital twins for multiple sclerosis. *Front. Immunol.* 2021;12:669811.
40. Walsh J. R., Smith A. M., Pouliot Y., Li-Bland D., Loukianov A., Fisher C. K. Generating digital twins with multiple sclerosis using probabilistic neural networks. *arXiv*. 2020;arXiv:2002.02779. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2002.02779>
41. Armero J. A. C., Quezada M. T., Vazquez L. B. Digital Twin: an Option for the Integrated Design of Upper Limb Robotic Exoskeletons for rehabilitation Tasks. *ARPJ. Engin. Appl. Sci.* 2021;16(6):686–97.
42. Shamanna P., Dharmalingam M., Sahay R., Mohammed J., Mohamed M., Poon T., Kleinman N., Thajudeen M. Retrospective study of glycemic variability, BMI, and blood pressure in diabetes patients in the Digital Twin Precision Treatment Program. *Sci. Rep.* 2021 Jul 21;11(1):14892. doi: 10.1038/s41598-021-94339-6
43. Shamanna P., Joshi S., Shah L., Dharmalingam M., Saboo B., Mohammed J., Mohamed M., Poon T., Kleinman N., Thajudeen M., Keshavamurthy A. Type 2 diabetes reversal with digital twin technology-enabled precision nutrition and staging of reversal: a retrospective cohort study. *Clin. Diabetes Endocrinol.* 2021;7(1):21. doi: 10.1186/s40842-021-00134-7
44. Портал Zdrav.Expert. Как «Инвитро» использует цифровых двойников для развития сети. Режим доступа: [https://zdrav.expert/index.php/Проект:Цифровые\\_двойники\\_в\\_Инвитро](https://zdrav.expert/index.php/Проект:Цифровые_двойники_в_Инвитро)
45. Barbiero P., Vicas Tornn R., Liy P. Graph Representation Forecasting of Patient's Medical Conditions: Toward a Digital Twin. *Front. Genet.* 2021;12. No FEB: 652907. doi: 10.3389/fgene.2021.652907
46. Bruynseels K., Santoni de Sio F., van den Hoven J. Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm. Feb 13, 2018. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/>
47. Возможности цифровых двойников в медицине обсудили в Академии наук. Научная Россия, 08.06.2021. Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/funktsii-tsifrovyyh-dvoynikov-v-meditsine-obsudili-v-akademii-nauk>
48. Интерфакс. В РФ намерены создать «цифрового двойника» системы здравоохранения. Режим доступа: <https://www.interfax.ru/russia/787585> (дата обращения 17.07.2023).
49. Кобякова О. С., Стародубов В. И., Куракова Н. Г., Цветкова Л. А. Цифровые двойники в здравоохранении: оценка технологических и практических перспектив. *Вестник РАМН*. 2021;76(5):476–87.
50. Куракова Н. Г., Цветкова Л. А., Полякова Ю. В. Цифровые двойники в хирургии: достижения и ограничения. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2022;(5):97–110. doi: 10.17116/hirurgia202205197
51. Cindy Abole a year later: MUSC, Siemens Healthineers partnership shows progress. MUSC, 23.08.2019. Режим доступа: <https://web.musc.edu/about/news-center/2019/08/23/a-year-later-musc-siemens-healthineers-partnership-shows-progress>
52. Sahli-Costabal F., Seo K., Ashley E., Kuhl E. Classifying drugs by their arrhythmogenic risk using machine learning. *Biophys. J.* 2020;118(5):1165–76. doi: 10.1016/j.bpj.2020.01.012
53. Портал Zdrav.Expert. Цифровые двойники в здравоохранении. Режим доступа: <https://zdrav.expert/index.php> Статья:Цифровые\_двойники\_в\_здравоохранении
54. Евдаков В. А., Олейник Б. А., Плечев В. В., Меркушин И. Л. Оценка влияния межрегиональной маршрутизации пациентов с острым коронарным синдромом с подъемом сегмента ST на снижение смертности от острого инфаркта миокарда на модели цифрового двойника Курганской области. *Менеджер здравоохранения*. 2022;(2):49–56. doi: 10.21045/1811-0185-2022-2-49-56
55. Пальмов С. В., Белякова Д. Г. Моделирование работы офтальмологической клиники средствами АлуLogic. *Глобальный научный потенциал*. 2019;3(96):163–9.
56. Филиппова К. А., Крылова Ю. И., Красильников И. А., Курапов Д. И. Создание имитационной модели для проектирования реконструкции приемного отделения. В сб.: Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021): Труды конференции. Санкт-Петербург, 20–22 октября 2021 года. СПб.: АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»; 2021. С. 421–4.

Поступила 22.12.2023  
Принята в печать 27.03.2024

## REFERENCES

- Gelernter D. *Mirror Worlds: Or the Day Software Puts the Universe in a Shoebox. How It Will Happen and What It Will Mean*; Oxford University Press. Oxford, UK: Oxford University Press; 1993.
- Grievens M., Vickers J. Origins of the digital twin concept. *Florida Institute of Technology* 8, 3–20, 2016. 288, 2016. doi: 10.13140/RG.2.2.26367.61609
- Kamel Boulos M. N., Zhang P. Digital Twins: From Personalised Medicine to Precision Public Health. *J. Pers. Med.* 2021 Jul 29;11(8):745. doi: 10.3390/jpm11080745
- Prokhorov A., Lysachev M. Digital twin. Analysis, trends, world experience. Ed. A. Borovkov. Moscow: AlliancePrint; 2020. 401 p. (in Russian).
- Sysoeva E. A. National standard of the Russian Federation in the field of digital twins. *Kompetentnost' = Competency (Russia)*. 2022;(3):10–13. doi: 10.24412/1993-8780-2022-3-10-13 (in Russian).
- Decree of the President of the Russian Federation of May 9, 2017 No. 203 “On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017–2030”. Available at: <https://www.garant.ru/prod-ucts/ipo/prime/doc/71570570/> (in Russian).

Здоровье и общество

7. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. Official site. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/events/37934/> (accessed 12/10/2020) (in Russian).
8. Braun M. Represent me: please! Towards an ethics of digital twins in medicine. *J. Med. Ethics*. 2021 Mar 15;medethics-2020-106134. doi: 10.1136/medethics-2020-106134. Epub ahead of print.
9. Craft L., Jones M. Hype Cycle for Healthcare Providers, 2020. Gartner, 08/05/2020. Available at: <https://www.gartner.com/en/documents/3988462>
10. Nalivaiko Yu. A., Denisova N. A. Analysis of directions for using digital twin technology in the healthcare sector. *Trudy Instituta biznes-kommunikatsiy = Proceedings of the Institute of Business Communications*. 2021;(9):38–43 (in Russian).
11. Lisogor D. Virtual organs for saving real lives. An expert talks about the prospects of digital twins. RUSBASE, 04/17/2020. Available at: <https://rb.ru/opinion/digital-twins/> (in Russian).
12. Lutz A., Pfeiffer D. Humanizing medtech: The dawn of a digital twin. Siemens-Healthineers, 08/31/2021. doi: 10.1109/ISM-SIT50672.2020.9255249 <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/humanizing-medtech-PMC5816748/> (in Russian).
13. Meeting of the Council for State Support for the Creation and Development of World-Class Scientific Centers. Portal of the Russian Government. 08/28/2020. Available at: <http://government.ru/news/40291/> (in Russian).
14. Melerzanov A. V., Alexandrova O. Yu., Svistunov A. A. Training for digital healthcare. *Sechenovskiy vestnik = Sechenovsky Bulletin*. 2017;3(29):15–24 (in Russian).
15. Melerzanov A. V., Almazov A. A., Trunin A. O., Rimsкая B. A., Aleksandrova O. Yu. Digital health training and standards analysis. *Doctor and information technology*. 2020;(2):64–71 (in Russian).
16. Melerzanov A. V., Almazov A. A., Ivanova M. A., Shukurlaeva G. E., Aleksandrova O. Yu. Classification of digital technologies and their impact on healthcare indicators. *Problemy standartizatsii v zdravookhraneniі = Problems of standardization in healthcare*. 2020;(5–6):3–9. doi: 10.26347/1607-2502202005-06003-009 (in Russian).
17. Erol T., Mendi A. F., Doğan D. The Digital Twin Revolution in Healthcare. Conference: 2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSTIT). IEEE. 2020. doi: 10.1109/ISMSTIT50672.2020.9255249. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/347023987\\_The\\_Digital\\_Twin\\_Revolution\\_in\\_Healthcare](https://www.researchgate.net/publication/347023987_The_Digital_Twin_Revolution_in_Healthcare)
18. Lehrach H., Ionescu A., Benhabiles N. The Future of Health Care: Deep Data, Smart Sensors, Virtual Patients and the Internet-of-Humans (White Paper-2016). Available at: [https://docs.wixstatic.com/ugd/2b9f87\\_40d29af47a9742498cbbbd484e0174e0.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/2b9f87_40d29af47a9742498cbbbd484e0174e0.pdf)
19. Björnsson B., Borrebaeck C., Elander N. Digital twins to personalize medicine. *Genome Med*. 2019;12(1):4. doi: 10.1186/s13073-019-0701-3
20. Q Bio Announces First Clinical “Digital Twin” Platform and Novel Whole-Body Scanner, and Major Investment from Kaiser Foundation Hospitals. Business Wire. Available at: <https://www.businesswire.com/news/home/20210429005437/en/Q-Bio-Announces-First-Clinical-“Digital-Twin”-Platform-and-Novel-Whole-Body-Scanner-and-Major-Investment-From-Kaiser-Foundation-Hospitals>
21. Wiggers K. Unlearn.ai raises \$12 million to accelerate clinical trials with “digital twins”. VentureBeat. 04/20/2020. Available at: <https://venturebeat.com/2020/04/20/unlearn-raises-12-million-to-accelerate-clinical-trials-with-digital-twins/>
22. Madaliev A., Ivanov V. M. Additive technologies and digital twins: from industry to medicine. *Zdorov'ye — osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya = Health is the basis of human potential: problems and ways to solve them*. 2019;14(1):229–34 (in Russian).
23. Bruynseels K., de Sio F., van den Hoven J. Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm. *Front. Genet*. 2018. 13 Feb. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2018.00031/full>
24. Vasilyeva T. P., Melerzanov A. V., Almazov A. A., Vasiliev M. D., Aleksandrova O. Yu. Assessing the innovativeness of public health technologies. *Vrach i informatsionnyye tekhnologii = Doctor and information technology*. 2020;(2):6–20 (in Russian).
25. Lawton G. 21 ways medical digital twins will transform healthcare. VENTUREBEAT, 04.07.2021. Available at: <https://venturebeat.com/2021/07/04/21-ways-medical-digital-twins-will-transform-health-care/>
26. Yakushin M. A., Gorenkov R. V., Aleksandrova O. Yu., Vasilyeva T. P., Yakushina T. L., Yarotsky S. Yu., Malakhova A. R. Clinical recommendations: from letters to numbers. *Problemy standartizatsii v zdravookhraneniі = Problems of standardization in healthcare*. 2020;(5–6):31–36 (in Russian).
27. Timashev P. S. Digital twin in medicine. *Moskovskaya meditsina = Moscow Medicine*. 2022;1(47):72–5 (in Russian).
28. Geranin M. A. The influence of “digital twins” on the economy of the public sector. *Kreativnaya ekonomika = Creative Economy*. 2018;12(11):1733–57 (in Russian).
29. Kalininskaya A. A., Lazarev A. V., Vasilyeva T. P., Kizeev M. V., Rassokha D. V. Medical and social characteristics and assessment of the quality of life of patients with diseases of the circulatory system. *Problemy sotsial'noy gigiyeny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny = Problems of social hygiene, health care and history of medicine*. 2021;29(3):456–61. doi: 10.32687/0869-866X-2021-29-3-456-461 (in Russian).
30. Kalininskaya A. A., Bakirova E. A., Kizeev M. V., Lazarev A. V., Shlyafaer S. I., Balzamova L. A. Scientific substantiation of proposals for improving medical care for rural residents. *Menedzher zdravookhraneniya = Healthcare Manager*. 2023;(1):50–9 (in Russian).
31. Abramov V. I., Ostanina S. S., Vodolazhskaya E. L. The preconditions of economic management of problematic region in a federal state. *Int. Rev. Manag. Market*. 2016;6(2): 212–8.
32. Dassault Systèmes' Living Heart Project Reaches Next Milestones in Mission to Improve Patient Care. Dassault Systèmes, 18.10.2017. Available at: <https://www.3ds.com/press-releases/single/dassault-systemes-living-heart-project-reaches-next-milestones-in-mission-to-improve-patient-care/>
33. Background Information. Erlang, Nov. 2018. Available at: [www.siemens-healthineers.com](http://www.siemens-healthineers.com)
34. Cardiac 3D chamber quantifications driven by advanced automation. 01.06.2015. Available at: <https://www.usa.philips.com/healthcare/resources/feature-detail/ultrasound-heartmodel>
35. The 3D printed “digital twin” of your heart that could save your life: AI system lets surgeons simulate surgery. Daily Mail Online, 01.09.2018. Available at: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-6117623/Medtech-firms-gets-personal-digital-twins.html>
36. Camps J., Lawson B., Drovandi C., Minchola A., Wang Z. J., Grau V., Burrage K., Rodriguez B. Inference of ventricular activation properties from non-invasive electrocardiography. *Med. Image Anal.* 2021 Oct;73:102143. doi: 10.1016/j.media.2021.102143. Epub 2021 Jun 23.
37. Chakshu N. K., Carson J., Sazonov I., Nithiarasu P. A semi-active human digital twin model for detecting severity of carotid stenoses from head vibration-A coupled computational mechanics and computer vision method. *Int. J. Numer. Method Biomed. Eng.* 2019 May;35(5):e3180. doi: 10.1002/cnm.3180. Epub 2019 Feb 20.
38. Virtual organs and drug testing: digital twins in medicine. RBC. 09.10.2021. Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613b35369a7947506473665e> (in Russian).
39. Voigt I., Inojosa H., Dillenseger A., Haase R., Akgiin K., Ziemsen T. Digital twins for multiple sclerosis. *Front. Immunol.* 2021;12:669811.
40. Walsh J. R., Smith A. M., Pouliot Y., Li-Bland D., Loukianov A., Fisher C. K. Generating digital twins with multiple sclerosis using probabilistic neural networks. *arXiv*. 2020;arXiv:2002.02779. Available at: <https://arxiv.org/abs/2002.02779>
41. Armero J. A. C., Quezada M. T., Vazquez L. B. Digital Twin: an Option for the Integrated Design of Upper Limb Robotic Exoskeletons for rehabilitation Tasks. *ARN J. Engin. Appl. Sci.* 2021;16(6):686–97.
42. Shamanna P., Dharmalingam M., Sahay R., Mohammed J., Mohamed M., Poon T., Kleinman N., Thajudeen M. Retrospective study of glycemic variability, BMI, and blood pressure in diabetes patients in the Digital Twin Precision Treatment Program. *Sci. Rep.* 2021 Jul 21;11(1):14892. doi: 10.1038/s41598-021-94339-6
43. Shamanna P., Joshi S., Shah L., Dharmalingam M., Saboo B., Mohammed J., Mohamed M., Poon T., Kleinman N., Thajudeen M., Keshavamurthy A. Type 2 diabetes reversal with digital twin technology-enabled precision nutrition and staging of reversal: a retrospective cohort study. *Clin. Diabetes Endocrinol.* 2021;7(1):21. doi: 10.1186/s40842-021-00134-7
44. Document Zdrav.Expert. How Invitro uses digital twins to develop its network. Available at: [https://zdrav.expert/index.php/Project:Digital\\_twins\\_in\\_Invitro](https://zdrav.expert/index.php/Project:Digital_twins_in_Invitro) (in Russian).
45. Barbiero P., Vicas Tornn R., Lij P. Graph Representation Forecasting of Patient’s Medical Conditions: Toward a Digital Twin. *Front. Genet.* 2021;12. No FEB: 652907. doi: 10.3389/fgene.2021.652907

46. Bruynseels K., Santoni de Sio F., van den Hoven J. Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm. Feb 13, 2018. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/>
47. The slightly less expensive snowflakes in the snowflake snowflakes. Scientific Russia, 08.06.2021. Available at: <https://scientificrussia.ru/articles/funksii-tsifrovyyh-dvoynikov-v-medical-observations-v-academies-of-nauk> (in Russian).
48. Interfax. The Russian Federation intends to create a “digital twin” of the healthcare system. Available at: <https://www.interfax.ru/russia/787585> (accessed 17.07.2023) (in Russian).
49. Kobyakova O. S., Starodubov V. I., Kurakova N. G., Tsvetkova L. A. Introduction to snowflakes in the snowflakes: the effects of snowflakes and snowflakes Liquid. *Vestnik RAMN*. 2021;76(5):476–4.
50. Kurakova N. G., Tsvetkova L. A., Polyakova Yu. V. Digital twins in surgery: achievements and limitations. *Khirurgiya. Zhurnal im. N. I. Pirogova = Surgery. Journal named after N. I. Pirogov*. 2022;(5):97–110. doi: 10.17116/hirurgia202205197 (in Russian).
51. Cindy Abole a year later: MUSC, Siemens Healthineers partnership shows progress. MUSC, 23.08.2019. Available at: <https://web.musc.edu/about/news-center/2019/08/23/a-year-later-musc-siemens-healthineers-partnership-shows-progress>
52. Sahli-Costabal F., Seo K., Ashley E., Kuhl E. Classifying drugs by their arrhythmogenic risk using machine learning. *Biophys. J*. 2020;118(5):1165–76. doi: 10.1016/j.bpj.2020.01.012
53. Portal Zdrav.Expert Digital\_twins\_in\_healthcare. Available at: [https://zdrav.expert/index.php/Article:Digital\\_twins\\_in\\_healthcare](https://zdrav.expert/index.php/Article:Digital_twins_in_healthcare) (in Russian).
54. Evdakov V. A., Oleynik B. A., Plechev V. V., Merkushev I. L. Assessment of the impact of interregional routing of patients with acute coronary syndrome with ST segment elevation on reducing mortality from acute myocardial infarction using the Kurganskaya digital twin model region. *Menedzher zdravookhraneniya = Health Care Manager*. 2022;(2):49–56. doi: 10.21045/1811-0185-2022-2-49-56 (in Russian).
55. Palmov S. V., Belyakova D. G. Modeling the work of an ophthalmology clinic using AnyLogic. *Global'nyy nauchnyy potentsial = Global Scientific Potential*. 2019;3(96):163–9 (in Russian).
56. Filippova K. A., Krylova Yu. I., Krasilnikov I. A., Kurapeev D. I. Creation of a simulation model for designing the reconstruction of the admission department. In: Tenth All-Russian scientific and practical conference on simulation modeling and its application in science and industry “Simulation modeling. Theory and Practice» (IMMOD-2021): Proceedings of the conference (Electronic edition), St. Petersburg, October 20–22, 2021 [Desyataya vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po imitatsionnomu modelirovaniyu i yego primeneniyu v nauke i promyshlennosti “Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i praktika” (IMMOD-2021): Trudy konferentsii. Sankt-Peterburg, 20–22 oktyabrya 2021 goda] Eds Plotnikov A. M., Dolmatov M. A., Smirnova E. P. St. Petersburg: JSC “Center for Technology of Shipbuilding and Ship Repair”; 2021. P. 421–4 (in Russian).