

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ

INFORMATION SYSTEMS AND PROCESSES

Развитие территорий. 2024. № 1. С. 08—19.
Territory Development. 2024;(1):08—19.

Информационные системы и процессы

Научная статья
УДК: 519.876.5
DOI: 10.32324/2412-8945-2024-1-08-19

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: ТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРОДСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Юрий Иванович Шокин¹, Леонид Куприянович Бобров^{2,3}

¹ Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск, Российская Федерация

² Сибирский институт управления — филиал РАНХиГС, Новосибирск, Российская Федерация

³ Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИИХ», Новосибирск, Российская Федерация
Автор, ответственный за переписку: Леонид Куприянович Бобров, l.k.bobrov@nsuem.ru

Аннотация. Приводятся данные, характеризующие объемы рынка цифровых двойников. На материалах Gartner иллюстрируется высокая значимость и перспективность развития технологий цифровых двойников. Пролеживается динамика публикационной активности российских и зарубежных авторов по вопросам разработки и внедрения цифровых двойников, а также показывается тематическое распределение публикаций, представленных в базе данных РИНЦ и ScienceDirect. Приводятся показатели публикационной активности университетов и организаций РАН. Утверждается, что многообразие задач, решаемых в сфере городского управления, создает предпосылки для использования цифровых двойников в различных прикладных областях, что способствует позитивным сдвигам в развитии территорий. Научный потенциал для развития городского управления как интегральной области использования цифровых двойников иллюстрируется на представительном множестве примеров отечественных и зарубежных публикаций.

Ключевые слова: цифровые двойники, тенденции рынка, статистика публикаций, тематическое распределение, городское управление, РИНЦ, ScienceDirect

Для цитирования: Шокин Ю. И., Бобров Л. К. Цифровые двойники: тематический анализ научных публикаций и перспективы использования в городском управлении // Развитие территорий. 2024. № 1. С. 08—19. DOI: 10.32324/2412-8945-2024-1-08-19.

Information systems and processes

Original article

DIGITAL TWINS: THEMATIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS AND PROSPECTS FOR USE IN CITY MANAGEMENT

Yury I. Shokin¹, Leonid K. Bobrov^{2,3}

¹ Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian Institute of Management — branch of RANEP, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation

Corresponding author: Leonid K. Bobrov, l.k.bobrov@nsuem.ru

Abstract. Data characterizing the volume of the digital twin market are provided. Gartner materials illustrate the high significance and promising development of digital twin technologies. The dynamics of publication activity of Russian and foreign authors on the development and implementation of digital twins is traced, and the thematic distribution of publications presented in the RSCI and ScienceDirect database is shown. Indicators of publication activity of universities and organizations of the Russian Academy of Sciences are presented. It is argued that the variety of tasks solved in the field of urban management creates the prerequisites for the use of digital twins in various application areas, which contributes to positive changes in the development of territories. The scientific potential for the development of urban management as an integral area of using digital twins was illustrated using a representative set of examples of domestic and foreign publications.

Keywords: digital twins, market trends, publication statistics, thematic distribution, city government, RSCI, ScienceDirect
For citation: Shokin Yu.I., Bobrov L.K. Digital Twins: Thematic Analysis of Scientific Publications and Prospects for Use in City Management. *Territory Development*. 2024;(1):08—19. (In Russ.). DOI: 10.32324/2412-8945-2024-1-08-19.

Реализация концепции «Индустрия 4.0» порождает множество новых решений и технологий. Цифровая трансформация различных сфер деятельности достаточно разнообразна. Во многих случаях она предполагает использование широкого спектра современных инструментов, в том числе компьютерных моделей различных объектов и систем, максимально приближенных к реальности. Последние получили название цифровых двойников.

Вопросы разработки и внедрения цифровых двойников находят отражение как в разнообразных материалах сети Интернет, так и во множестве научных изданий. Представляет интерес анализ публикаций с позиций наукометрии, позволяющий выделить тематические акценты отечественных и зарубежных исследований, определить проблемные зоны и направления дальнейших работ по созданию и использованию цифровых двойников¹.

Интерес к использованию цифровых двойников в различных областях человеческой деятельности нарастает год от года, поскольку их внедрение приносит ощутимые положительные результаты.

Одной из перспективных сфер приложения технологий цифровых двойников может быть городское управление, которое характеризуется многообразием управленческих задач и необходимостью принятия управленческих решений по широкому спектру вопросов. По сути, городское управление может рассматриваться как интегральная область использования цифровых двойников в качестве инструмента повышения эффективности развития территорий.

Прогнозируется, что рынок цифровых двойников будет быстро расти в течение следующих лет. Прогнозные данные, приводимые различными источниками, несколько разнятся, но тенденция к динамичному росту наблюдается везде. Так, по оценке аналитиков Gartner, глобальный рынок цифровых двойников в 2021 г. оценивался в 6,75 млрд долл., а к 2029 г. он может достичь уже 96 млрд долл. [4] Согласно исследованию MarketsandMarkets, в 2020 г. рынок оценивался в 3,1 млрд долл., но ожидается, что к 2026 г. он достигнет 48,2 млрд долл., а в 2030 г. превысит 184 млрд долл. [5] Один из наиболее оптимистичных прогнозов дает компания Precedence Research (рис. 1).

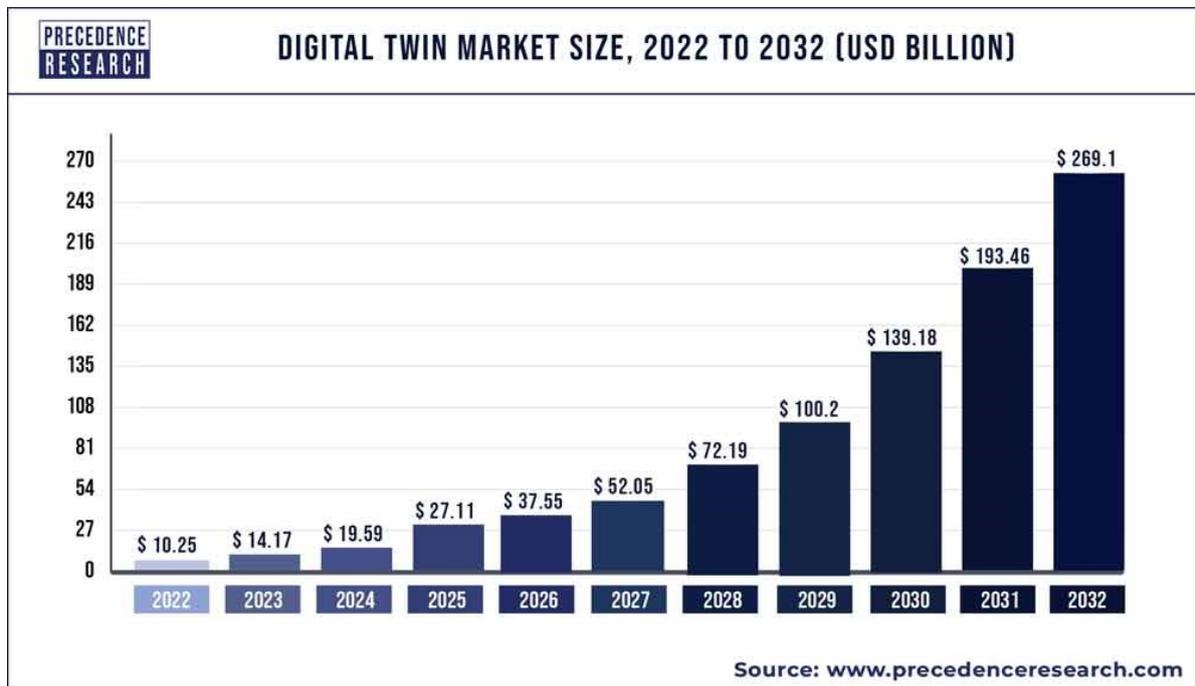


Рис. 1. Прогноз мирового рынка цифровых двойников [6]
Global Digital Twin Market Forecast [6]

По прогнозам аналитиков, расходы на проекты цифровых двойников будут увеличиваться в среднем на 58 % в год [7]. Становление и развитие

рынка цифровых двойников связано с поступательным развитием соответствующих технологий. Эволюцию направления Digital Twin наглядно иллюстрируют циклы зрелости технологий, ежегодно публикуемые компанией Gartner (Gartner Hype Cycle) [8]. Это направление впервые вошло в пул технологий Gartner в 2016 г. (рис. 2).

¹ Концепция цифровых двойников была предложена и описана Майклом Гривсом в начале 2000-х гг., а в 2010 г. термин «цифровой двойник» был введен в оборот в официальном документе NASA [1—3].

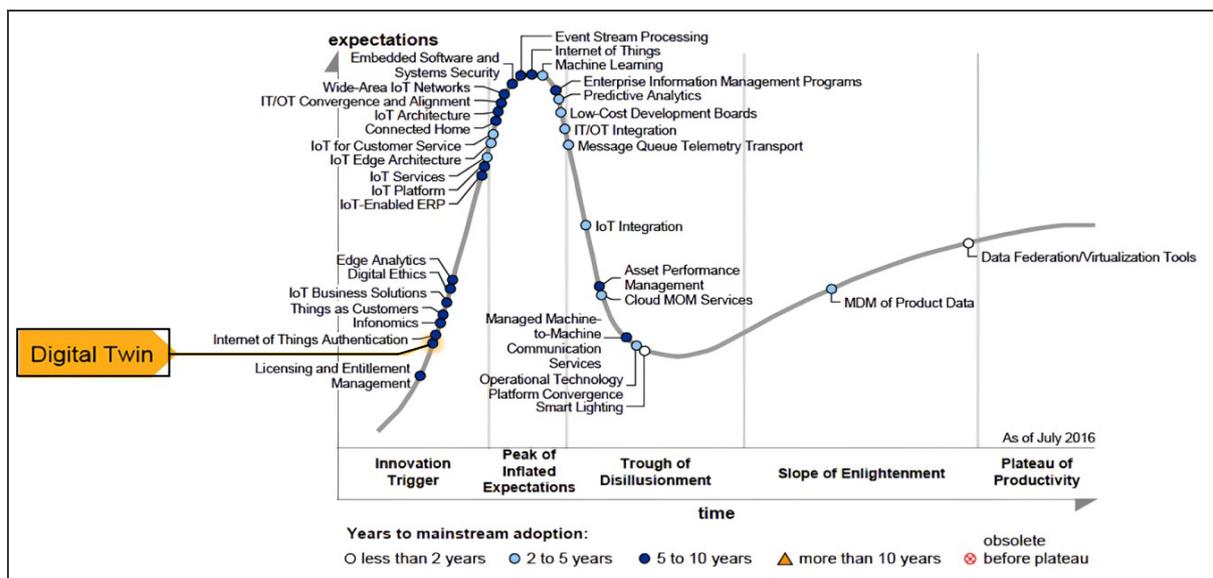


Рис. 2. Пул технологий Gartner (2016) [9]
Gartner Technology Pool (2016) [9]

Вопреки прогнозам аналитиков Gartner, предполагавших максимальное развитие в течение 5—10 лет, динамика роста Digital Twin оказалась значительно выше. Так, в 2017 г. направление Digital Twin получило дальнейшее развитие, а уже в 2018 г. оказалось на пике кривой Gartner

Hype Cycle. Высокая актуальность задач создания и использования цифровых двойников сохранялась и на протяжении последующих лет: в 2022 г. Gartner относит область цифровых двойников к числу высокозначимых направлений ближайших лет (рис. 3).

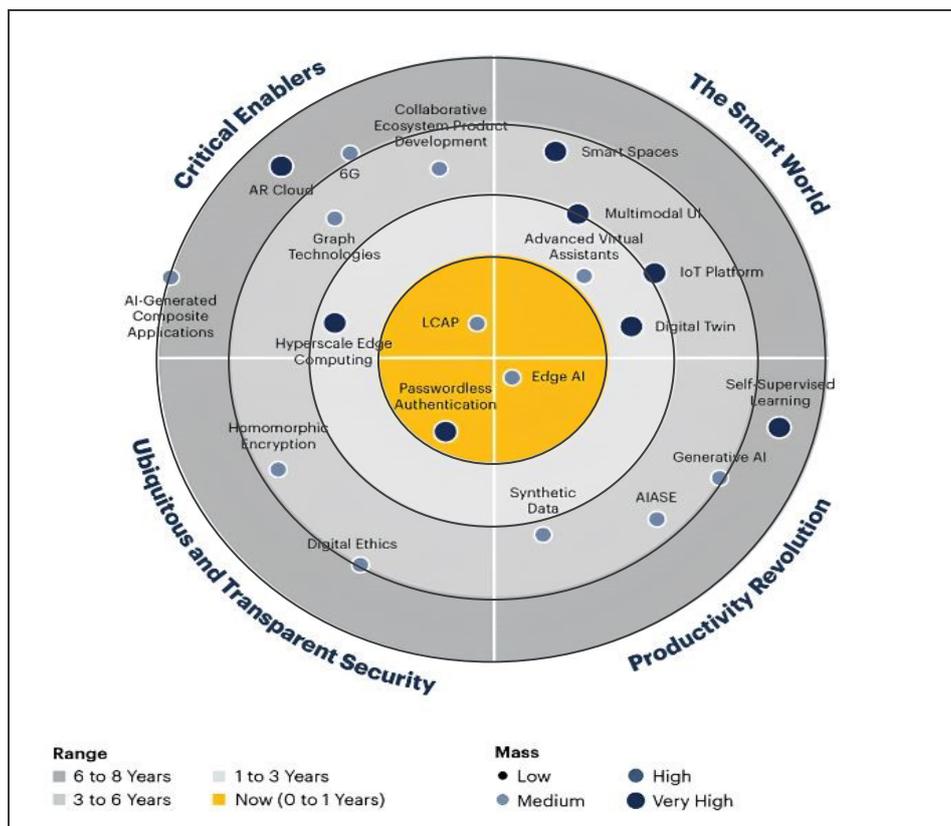


Рис. 3. Импакт-радар Gartner 2022 [10]
Gartner Impact Radar 2022 [10]

По данным Gartner, с 2019 г. начинают развиваться прикладные технологии [11 ; 12],

включая технологии цифрового правительства (рис. 4).

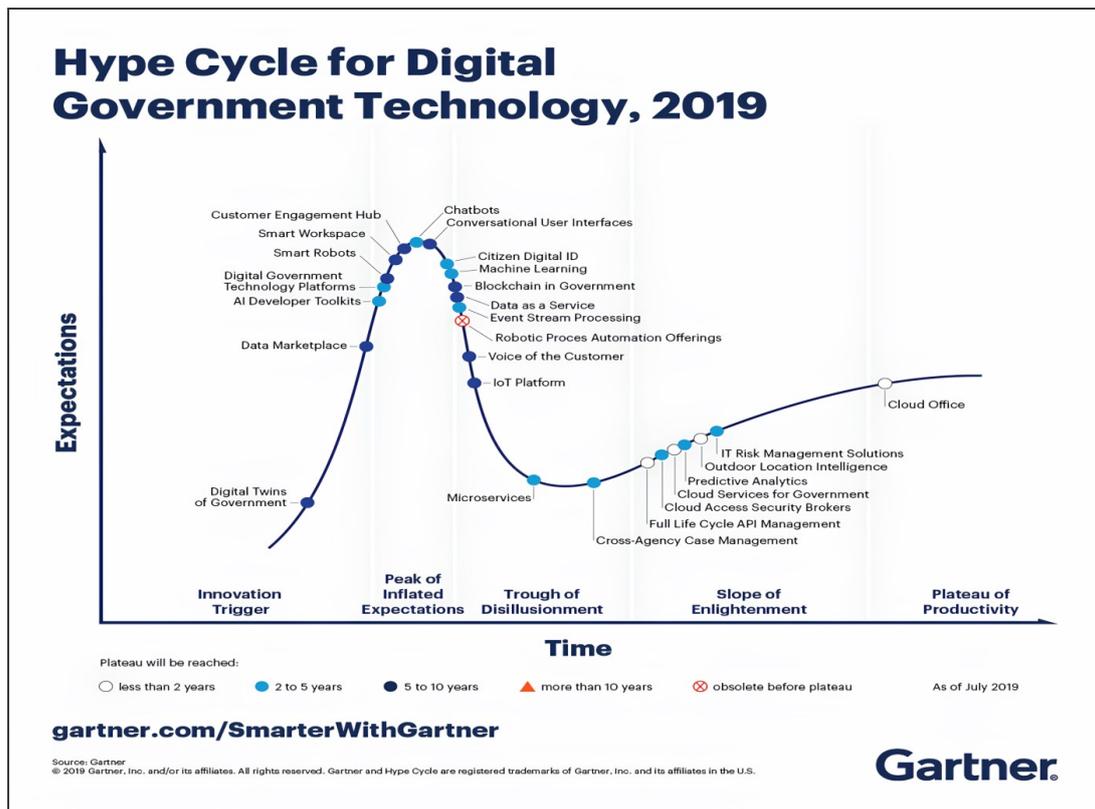


Рис. 4. Digital twin технологии цифрового правительства
Digital Twin Technologies for Digital Government

Данные, представленные на рис. 4, свидетельствует о широком спектре задач, лежащих в плоскости государственного (а равно и территориального, муниципального) управления, к решению которых применимы технологии цифровых двойников.

Первые работы, акцентирующие внимание на области цифровых двойников, датируются 2015—2017 гг., затем произошел активный рост числа

публикаций, посвященных данной тематике. Динамику роста научного интереса как в нашей стране, так и за рубежом, иллюстрируют результаты поиска (по состоянию на 21 января 2024 г.) опубликованных работ в базах данных РИНЦ и ScienceDirect¹ (отбирались публикации, содержащие в названиях словосочетания (с учетом вариаций словоформ) «цифровые двойники» и «digital twin» соответственно) (рис. 5).

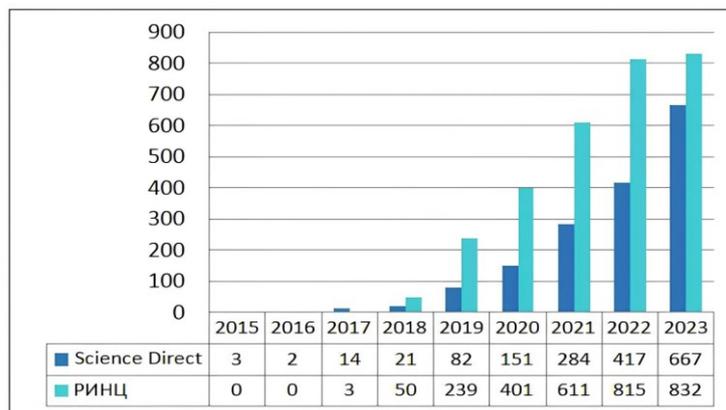


Рис. 5. Динамика публикаций по цифровым двойникам
Dynamics of Publications on Digital Twins

Тематическое распределение публикаций, содержащих в заглавиях «digital twin», в базе данных ScienceDirect, свидетельствует о повышенном внимании к таким областям, как инженерия, информатика, принятие решений и энергетика — соответственно 47, 17, 10 и 8 % от общего числа публикаций (рис. 6).

¹ ScienceDirect содержит 19 млн статей и охватывает 2 800 журналов, которые публикуют около 600 тыс. статей в год, что составляет 18 % глобальных статей и 28 % глобальных цитирований (www.elsevier.com/products/sciencedirect).

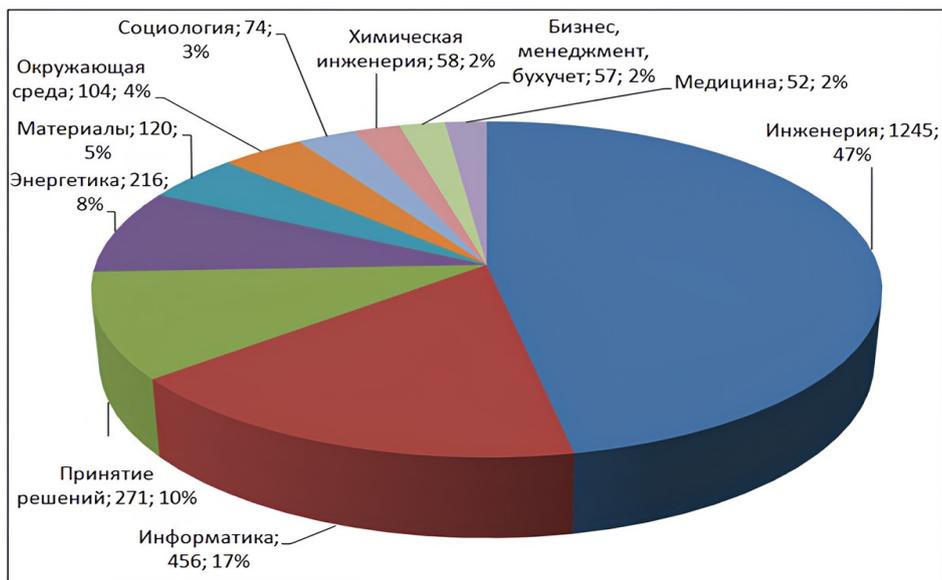


Рис. 6. Тематическое распределение публикаций в базе данных ScienceDirect
Thematic Distribution of Publications in the ScienceDirect Database

Сопоставляя тематики публикаций в РИНЦ и ScienceDirect, можно увидеть (хотя и с некоторыми оговорками¹) примерно схожую картину в части инженерии, информатики и энергетики, отметив ряд отличий, касающихся аналогичных тематических рубрик (рис. 7).

В частности, в зарубежной печати гораздо больше внимания уделяется окружающей среде,

социологии, химии. Рубрика «принятие решений» в РИНЦ отсутствует. Результаты уточняющих поисков в сформированной подборке документов РИНЦ (содержащей 2 953 документа) позволяют предположить, что доля публикаций в области принятия решений составляет примерно 1—5 %.

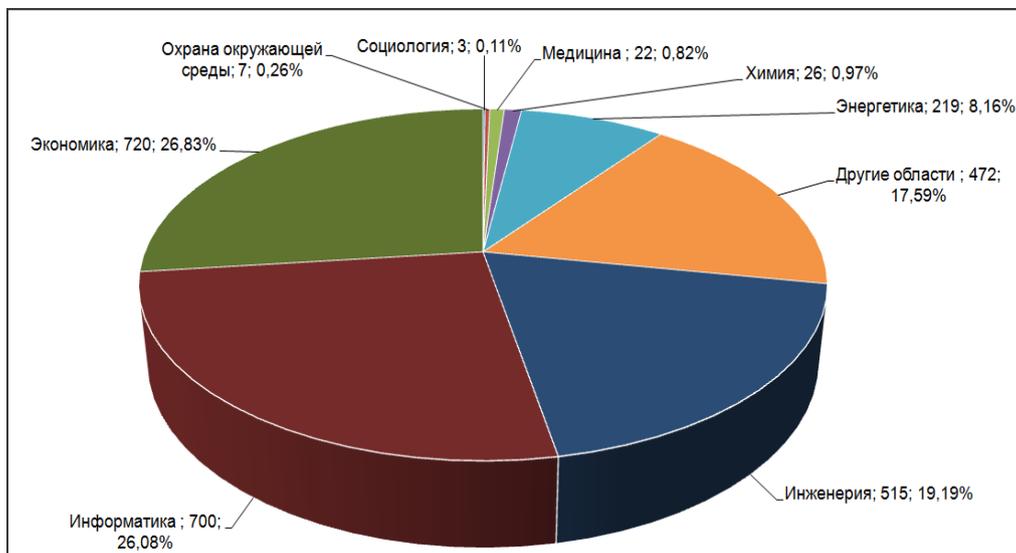


Рис. 7. Тематическое распределение публикаций в базе данных в РИНЦ
Reflection of ScienceDirect Thematic Areas in the RSCI Database

Наибольшую публикационную активность в области цифровых двойников проявляют уни-

¹ Поскольку тематические рубрикаторы ScienceDirect и РИНЦ существенно отличны, причем рубрикатор РИНЦ более дробный (это рубрикатор ГРНТИ), то в область инженерии нами были включены разделы «Машиностроение», «Транспорт», «Горное дело», «Строительство и архитектура», «Металлургия», и т. п.; в информатику помимо одноименного раздела включены рубрики «Автоматика. Вычислительная техника», «Кибернетика», «Математика», «Связь»; в раздел энергетики включена и рубрика «Электротехника».

верситеты (в сформированной подборке из 2 953 работ представлен 151 университет) с суммарным числом публикаций, равным 2 040 (табл. 1). В список топ-10 университетов, в совокупности опубликовавших 620 работ (что составляет 30 % от суммарного объема), входят Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (154 публикации), Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (58), Национальный исследова-

тельский университет «МЭИ» (57), Уфимский государственный нефтяной технический университет (57), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (56), Московский авиационный институт (54), Уфимский университет науки и технологий (53), Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королёва (45), МИРЭА — Российский технологический университет (44), Южно-Уральский государственный университет (42).

Сто двадцать пять работ (из них 64 статьи в журналах, в том числе 8 в журналах, входящих в Web of Science или Scopus, 26 в журналах, вхо-

дящих в ядро РИНЦ, и 25 в журналах, входящих в RSCI) опубликовано 58 организациями РАН (см. табл. 1). В первую пятерку организаций, суммарно опубликовавших 99 работ, что составляет 79 % от общего числа, вошли Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (24 работы), Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (20), Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН (16), Всероссийский институт научной и технической информации РАН (13) и Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (10).

Таблица 1

Показатели публикационной активности университетов и организаций РАН в освещении проблем цифровых двойников
Indicators of publication activity of universities and organizations of the Russian Academy of Sciences in covering the problems of digital twins

Показатель	Университеты	Организации РАН
Публикации, всего	2 040	125
Из них статей в журналах, всего	758 (37 %)	64 (51 %)
В том числе:		
статьи в журналах, входящих в Web of Science или Scopus	38 (1,9 %)	8 (6,4 %)
статьи в журналах, входящих в ядро РИНЦ	102 (5 %)	26 (20,8 %)
статьи в журналах, входящих в RSCI	75 (3,7 %)	25 (20 %)
Средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были опубликованы статьи	0,304	0,405
Число авторов	3646	224
Среднее число публикаций в расчете на одного автора	0,56	0,56
Суммарное число цитирований публикаций	3265	338
Среднее число цитирований в расчете на одну статью	1,60	2,70

Сопоставляя полученные результаты, нельзя не заметить, что при весьма небольшой относительной доле публикаций в их общем объеме (чуть более 6 %) организации РАН имеют более высокие качественные показатели по сравнению с университетами. Это особенно заметно в части удельного веса работ, входящих в Web of Science / Scopus, RSCI, ядро РИНЦ, а также цитируемости в расчете на одну статью (см. табл. 1).

Сфера использования цифровых двойников весьма широка, и это подтверждается как тематическим распределением публикаций в базах РИНЦ и ScienceDirect (см. рис. 6, 7), так и много-

численными материалами, представленными в сети Интернет. Одним из активно развиваемых направлений является использование цифровых двойников при решении задач городского управления. Многообразие этих задач как общего характера, лежащих в поле деятельности городских властей (п. 1, 2 табл. 2), так и специализированных по различным сферам экономической и социальной жизни города (п. 3—11 табл. 2) и потому требующих управленческого контроля и регулирования со стороны муниципалитета иллюстрируется примерами соответствующих публикаций (табл. 2).

Таблица 2

Применение цифровых двойников в решении задач городского управления
Application of digital twins in solving urban management problems

№ п/п	Сфера применения ЦД	Примеры публикаций РИНЦ и их цитируемость*	Примеры публикаций ScienceDirect и их цитируемость*
1	Концептуально-методологические вопросы	Концепция построения цифрового двойника города [13] (32) Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики [14] (45)	Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure [35] (32)
2	Преимущества использования цифровых двойников	Цифровые двойники территорий для поддержки принятия решений в сфере регионального социально-экономического развития [15] (33) Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса [16] (113)	The adoption of urban digital twins [36] (26) Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities [37] (43)
3	Проблемы использования цифровых двойников	Кадровые проблемы использования технологии цифровых двойников в животноводстве [17] (14) Применение технологии цифровых двойников в России: возможности развития и сдерживающие факторы [18]	Chapter 14 — Digital twins of cities and evasive futures [38] (18) Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey [39] (24)

№ п/п	Сфера применения ЦД	Примеры публикаций РИНЦ и их цитируемость*	Примеры публикаций ScienceDirect и их цитируемость*
4	Энергетика и энергоэффективность	Эволюция технологий исследований энергетики и применения их результатов: от математических моделей и компьютерных программ к цифровым двойникам и цифровым образам [19] (18) ИТ-инфраструктура для построения интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики на основе цифровых двойников и цифровых образов [20] (11)	Recent advances on industrial data-driven energy savings: Digital twins and infrastructures [40] (116)
5	Здравоохранение	Опыт и перспективы применения цифровых двойников в общественном здравоохранении [21] (5) Цифровой двойник сердца [22] (7)	Is Human Digital Twin possible? [41] (64)
6	Экологическая безопасность	Цифровые двойники процессов работы природосберегающего оборудования инфраструктурного объекта [23] (10) Обзор современных программных комплексов и концепции цифрового двойника для прогнозирования аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли [24] (5)	Digital Twins for the built environment: learning from conceptual and process models in manufacturing [42] (69)
7	Транспорт	Цифровые двойники и их применение в экономике транспорта [25] (6) Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте [26] (11)	Developing and analyzing eco-driving strategies for on-road emission reduction in urban transport systems [43] (6)
8	Строительство и архитектура	Цифровой двойник здания: отличие от BIM-технологий, источники эффективности применения в жилищно-коммунальном хозяйстве [27] (7) Цифровые двойники на базе развития технологий BIM, связанные онтологиями, 5G, IoT и смешанной реальностью для использования в инфраструктурных проектах и IFRABIM [28] (38)	Developing an integrative framework for digital twin applications in the building construction industry: A systematic literature review [44] (166)
9	Коммуникации и связь	Преимущества технологии цифрового двойника инфраструктуры [29] (4) Цифровые двойники сложных технических систем в Индустрии 4.0: базовые подходы [30] (17)	Literature review of digital twin technologies for civil infrastructure [45] (6)
10	Управление активами	Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании [31] (33) Цифровая трансформация системы планирования на основе цифрового двойника [32] (15)	Digital twins for asset management: Social network analysis-based review [46] (4) Exploring the role of Digital Twin for Asset Lifecycle Management [47] (168)
11	Образование	Цифровые двойники в образовании: перспективы и реальность [33] (80) Цифровые двойники знаний и онтологии для высшего технологического образования [34] (13)	Gamification and virtual reality for digital twin learning and training: architecture and challenges [48] (8)

* Дана в круглых скобках.

* Given in parentheses.

Приведенная в таблице литература свидетельствует о многообразии вариантов использования технологий цифровых двойников в различных областях городского управления. При формировании таблицы предпочтение отдавалось высокоцитируемым работам и статьям обзорного характера, в силу чего она может рассматриваться как некий начальный путеводитель по вопросам разработки и внедрения цифровых двойников с целью решения задач, связанных с эффектив-

ным городским управлением (good governance) и обеспечением жизнедеятельности территорий.

Проблематика цифровых двойников также широко представлена в трудах многих конференций. Так, из общего числа работ в анализируемой подборке из 2 953 опубликованных в РИНЦ документов примерно половину (1 454) составляют доклады на конференциях. При этом число публикаций в трудах конференций неуклонно увеличивается (рис. 8).

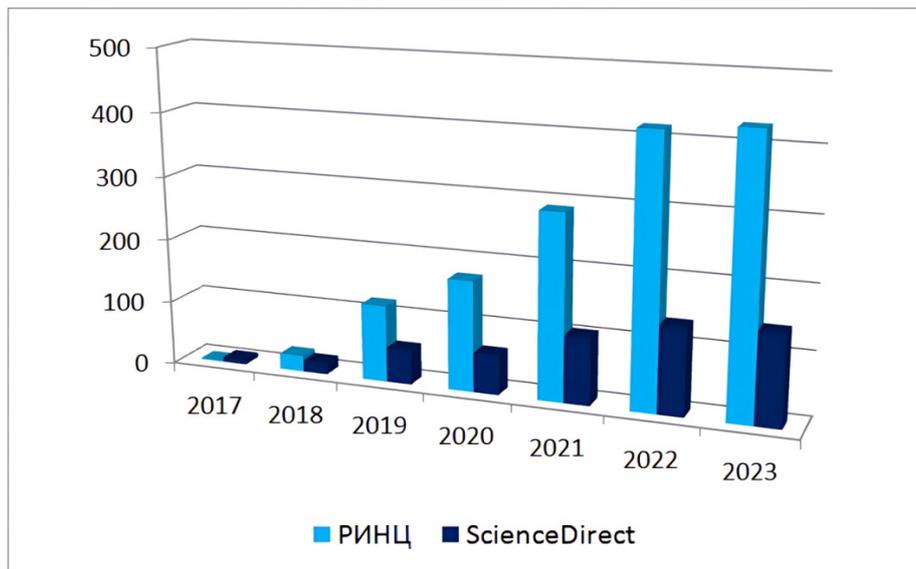


Рис. 8. Динамика публикаций по проблемам цифровых двойников в трудах конференций
Dynamics of publications on the problems of digital twins in conference proceedings

Сравнение в отношении цитируемости статей в журналах и работ в трудах конференций показывает, что нулевое цитирование имеют 80,67 % докладов, а аналогичный процент журнальных статей равен 56,1 %. Среднее же число цитирований в расчете на одну работу составляет 2,73 для журнальных статей и 0,64 — для работ в трудах конференций, т. е. журнальные статьи цитируются, как минимум, в четыре раза активнее.

В заключение можно сделать следующие выводы:

- наблюдается экспоненциальный рост научного интереса к теме цифровых двойников;
- приведенные статистические данные и динамика публикаций в РИНЦ и ScienceDirect свидетельствуют о все большем внимании к разнообразным вопросам создания и внедрения цифровых двойников;
- начиная с 2019 г. активизируется разработка прикладных технологий государственного и муниципального управления, ориентированных на использование цифровых двойников;
- тематическое распределение публикаций в базе данных ScienceDirect и РИНЦ кардинально

не отличается, что свидетельствует лишь о незначительных расхождениях в направленности разработок и практических приложений цифровых двойников в нашей стране и за рубежом;

— публикационная активность университетов более чем в 16 раз превосходит активность организаций РАН. В то же время последние имеют более высокие качественные показатели по сравнению с университетами в части удельного веса работ, входящих в Web of Science / Scopus, RSCI, ядро РИНЦ, а также цитируемости в расчете на одну статью;

— городское и территориальное управление может рассматриваться как интегральная область использования разнообразных цифровых двойников;

— отмечается положительная динамика публикаций в трудах конференций, но их цитируемость ниже, чем у журнальных статей, — среднее число цитирований в расчете на одну журнальную статью более чем в четыре раза превышает соответствующий показатель для работ в трудах конференций.

Список источников

1. *What is a digital twin?* URL: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (дата обращения: 20.12.2023).
2. *РБК: Что такое цифровые двойники и где их используют.* URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6107e5339a79478125166eeb> (дата обращения: 20.12.2023).
3. *Цифровые двойники в промышленности: истоки, концепции, современный уровень развития и примеры внедрения.* URL: <https://digitaltwin.ru/digital-twins-in-industry/> (дата обращения: 20.12.2023).
4. *Цифровые двойники. Новые подходы.* URL: <https://dzen.ru/a/Y9JXF1jsyW4R2AD5> (дата обращения: 20.12.2023).
5. *2022: Digital Twins.* URL: <https://connectedworld.com/2022-digital-twins/> (дата обращения: 20.12.2023).
6. *ICT-Digital Twin Market.* URL: <https://www.precedenceresearch.com/digital-twin-market> (дата обращения: 20.12.2023).
7. *Цифровой двойник Digital Twin of Organization, DTO.* URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%28Digital_Twin_of_Organization,_DTO%29#.D0.AD.D0.B2.D0.BE.D0.BB.D1.8E.D1.86.D0.B8.D1.8F_DT (дата обращения: 20.12.2023).
8. *Unlocking Business Advantage with Digital Twins.* URL: <https://vantiq.com/blog/unlocking-business-advantage-with-digital-twins/> (дата обращения: 20.12.2023).

9. *Hype cycle with digital twin at the top of the peak of expectations*, August 2018 (Gartner, 2018) // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/figure/Hype-cycle-with-digital-twin-at-the-top-of-the-peak-of-expectations-August-2018_fig1_328803997 (дата обращения: 20.12.2023).
10. *5 Impactful Technologies from the Gartner Emerging Technologies and Trends Impact Radar for 2022*. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/5-impactful-technologies-from-the-gartner-emerging-technologies-and-trends-impact-radar-for-2022> (дата обращения: 20.12.2023).
11. *What's New in the 2022 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> (дата обращения: 20.12.2023).
12. *Top Trends from Gartner Hype Cycle for Digital Government Technology, 2019*. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-from-gartner-hype-cycle-for-digital-government-technology-2019> (дата обращения: 20.12.2023).
13. *Концепция построения цифрового двойника города* / С. А. Иванов, К. Ю. Никольская, Г. И. Радченко, Л. Б. Соколинский, М. Л. Цымблер // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. Т. 9, № 4. С. 5—23.
14. *Шпак П. С., Сычева Е. Г., Меринская Е. Е.* Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2020. Т. 18, № 1. С. 57—68.
15. *Медведев А. В.* Цифровые двойники территорий для поддержки принятия решений в сфере регионального социально-экономического развития // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 6—1. С. 61—66.
16. *Кокорев Д. С., Юрин А. А.* Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // Colloquium-Journal. 2019. № 10—2 (34). С. 101—104.
17. *Чуба А. Ю., Сторожев И. И.* Кадровые проблемы использования технологии цифровых двойников в животноводстве // Экономика и предпринимательство. 2021. № 8 (133). С. 1354—1358.
18. *Сосфенов Д. А., Шахова М. С.* Применение технологии цифровых двойников в России: возможности развития и сдерживающие факторы // Экономика и управление. 2023. Т. 29, № 11. С. 1325—1332.
19. *Массель Л. В., Массель А. Г., Копайгородский А. Н.* Эволюция технологий исследований энергетики и применения их результатов: от математических моделей и компьютерных программ к цифровым двойникам и цифровым образам // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 5—19.
20. *ИТ-инфраструктура для построения интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики на основе цифровых двойников и цифровых образов* / Н. И. Воропай, Л. В. Массель, И. Н. Колосок, А. Г. Массель // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2021. № 1. С. 3—13.
21. *Зуенкова Ю. А.* Опыт и перспективы применения цифровых двойников в общественном здравоохранении // Менеджер здравоохранения. 2022. № 6. С. 69—77.
22. *Цифровой двойник сердца* / М. Н. Крамм, О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, А. В. Светлов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1 (35). С. 73—84.
23. *Цифровые двойники процессов работы природосберегающего оборудования инфраструктурного объекта* / А. Г. Феоктистов, Р. О. Костромин, И. А. Сидоров, С. А. Горский, О. Ю. Башарина // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 1. С. 57—62.
24. *Обзор современных программных комплексов и концепции цифрового двойника для прогнозирования аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли* / К. Н. Абдрахманова, А. В. Федосов, К. Р. Идрисова, И. Р. Даниева, Р. Р. Валеева // Нефтегазовое дело : электрон. науч. журн. 2020. № 3. С. 71—91.
25. *Римская О. Н., Анохов И. В.* Цифровые двойники и их применение в экономике транспорта // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2021. Т. 12, № 2. С. 127—137.
26. *Шевченко Д. В.* Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2021. Т. 80, № 2. С. 91—99.
27. *Иванова И. Б., Васильева А. Ю.* «Цифровой двойник» здания: отличие от BIM-технологий, источники эффективности применения в жилищно-коммунальном хозяйстве // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2021. № 2 (45). С. 43—49.
28. *Цифровые двойники на базе развития технологий BIM, связанные онтологиями, 5G, IoT и смешанной реальностью для использования в инфраструктурных проектах и IFRABIM* / В. П. Куприяновский, А. А. Климов, Ю. Н. Воропаев, О. Н. Покусаев, А. П. Добрынин, И. В. Понкин, А. А. Лысогорский // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8, № 3. С. 55—74.
29. *Преимущества технологии цифрового двойника инфраструктуры* / С. С. Юханов, Д. В. Зуев, С. В. Бочкарёв, А. А. Федоров // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 4. С. 25—27.
30. *Цифровые двойники сложных технических систем в Индустрии 4.0: базовые подходы* / В. Л. Баденко, Н. С. Большаков, А. А. Федотов, В. К. Ядыкин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 1. С. 20—30.
31. *Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании* / В. И. Абрамов, Д. С. Бобоев, Т. Д. Гильманов, К. Ю. Семенов // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12, № 2. С. 967—980.
32. *Цифровая трансформация системы планирования на основе цифрового двойника* / Е. А. Яковлева, И. А. Толочко, А. А. Ким, А. А. Черняева // Креативная экономика. 2021. Т. 15, № 7. С. 2811—2826.
33. *Вихман В. В., Ромм М. В.* «Цифровые двойники» в образовании: перспективы и реальность // Высшее образование в России. 2021. Т. 30, № 2. С. 22—32.
34. *Цифровые двойники знаний и онтологии для высшего технологического образования* / Ю. И. Волокитин, О. В. Гринько, В. П. Куприяновский, А. В. Корзун, А. А. Алмазов, О. Н. Покусаев, М. Г. Жабицкий // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9, № 1. С. 128—144.
35. *Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure* / M. Pregnotato, S. Gunner, E. Voyagaki, R. De Risi, N. Carhart, G. Gavriel, P. Tully, T. Tryfonas, J. Macdonald, C. Taylor // Automation in Construction. Vol. 141. September 2022. 104421. doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104421.
36. *Ferré-Bigorra J., Casals M., Gangolells M.* The adoption of urban digital twins // Cities. Vol. 131. December 2022. 103905. doi.org/10.1016/j.cities.2022.103905.

37. Attaran M., Gokhan Celik B. Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities // *Decision Analytics Journal*. Vol. 6. March 2023. 100165. doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165.
38. Cureton P., Dunn N. Chapter 14 — Digital twins of cities and evasive futures // *Shaping Smart for Better Cities*. 2021. 1. P. 267—282. doi.org/10.1016/B978-0-12-818636-7.00017-2.
39. Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey / Binyu Lei, Patrick Janssen, Jantien Stoter, Filip Biljecki // *Automation in Construction*, Vol. 147. March 2023. 104716. doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104716.
40. Recent advances on industrial data-driven energy savings: Digital twins and infrastructures / Sin Yong Teng, Michal Touš, Wei Dong Leong, Bing Shen How, Hon Loong Lam, Vítězslav Máša // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 135. January 2021. 110208. doi.org/10.1016/j.rser.2020.110208.
41. Shengli W. Is Human Digital Twin possible? // *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*. Vol.1. 2021. 100014. doi.org/10.1016/j.cmpbup.2021.100014.
42. Juan Manuel Davila Delgado, Lukumon Oyedele. Digital Twins for the built environment: learning from conceptual and process models in manufacturing // *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 49. August 2021. 101332. doi.org/10.1016/j.aei.2021.101332.
43. Zheng Xu, Tanghan Jiang, Nan Zheng. Developing and analyzing eco-driving strategies for on-road emission reduction in urban transport systems — A VR-enabled digital-twin approach // *Chemosphere*. Vol. 305. October 2022. 135372. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135372.
44. Developing an integrative framework for digital twin applications in the building construction industry: A systematic literature review / Wuyan Long, Zhikang Bao, Ke Chen, S. Thomas Ng, Ibrahim Yahaya Wuni // *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 59. January 2024. 102346. doi.org/10.1016/j.aei.2023.102346.
45. Cheng Liu, Peining Zhang, Xuebing Xu. Literature review of digital twin technologies for civil infrastructure // *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*. Vol. 2. Issue 3. September 2023. 100050. doi.org/10.1016/j.iintel.2023.100050.
46. Kolade Arisekola, Katherine Madson. Digital twins for asset management: Social network analysis-based review // *Automation in Construction*. Vol. 150. June 2023. 104833. doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104833.
47. Exploring the role of Digital Twin for Asset Lifecycle Management / Marco Macchi, Irene Roda, Elisa Negri, Luca Fumagalli // *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 51. Issue 11. 2018. Pages 790—795. doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.415.
48. Antonio Bucchiarone. Gamification and virtual reality for digital twin learning and training: architecture and challenges // *Virtual Reality & Intelligent Hardware*. Vol. 4. Issue 6. December 2022. Pages 471—486. doi.org/10.1016/j.vrih.2022.08.001.
49. Красильников Д. Г., Сивинцева О. В., Троицкая Е. А. Современные западные управленческие модели: синтез NEW PUBLIC MANAGEMENT и GOOD GOVERNANCE // *Ars Administrandi (Искусство управления)*. 2014. № 2. С. 45—62.
50. Institutional effectiveness of REDD+ MRV: Countries progress in implementing technical guidelines and good governance requirements / R. M. Ochieng, I. J. Visseren-Hamakers, B. Arts, M. Brockhaus, M. Herold // *Environmental Science & Policy*. Vol. 61. July 2016. Pages 42—52. doi.org/10.1016/j.envsci.2016.03.018.

References

1. What is a digital twin? Available at: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (accessed: 20.12.2023).
2. RBK: Chto takoe tsifrovye dvoyniki i gde ikh ispol'zuyut [RBC: What are digital twins and where are they used]. Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6107e5339a79478125166eeb> (accessed: 20.12.2023).
3. Tsifrovye dvoyniki v promyshlennosti: istoki, kontseptsii, sovremennyy uroven' razvitiya i primery vnedreniya [Digital twins in industry: origins, concepts, current level of development and examples of implementation]. Available at: <https://digitaltwin.ru/digital-twins-in-industry/> (accessed: 20.12.2023).
4. Tsifrovye dvoyniki. Novye podkhody [Digital twins. New approaches]. Available at: <https://dzen.ru/a/Y9JXF1jisyW4R2AD5> (accessed: 20.12.2023).
5. 2022: Digital Twins. Available at: <https://connectedworld.com/2022-digital-twins/> (accessed: 20.12.2023).
6. ICT-Digital Twin Market. Available at: <https://www.precedenceresearch.com/digital-twin-market> (accessed: 20.12.2023).
7. Tsifrovoy dvoynik Digital Twin of Organization, DTO [Digital Twin of Organization, DTO]. Available at: www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%28Digital_Twin_of_Organization,_DTO%29#.D0.AD.D0.B2.D0.BE.D0.BB.D1.8E.D1.86.D0.B8.D1.8F_DT (accessed: 20.12.2023).
8. Unlocking Business Advantage with Digital Twins. Available at: <https://vantiq.com/blog/unlocking-business-advantage-with-digital-twins/> (accessed: 20.12.2023).
9. Hype cycle with digital twin at the top of the peak of expectations, August 2018 (Gartner, 2018), *ResearchGate*. Available at: https://www.researchgate.net/figure/Hype-cycle-with-digital-twin-at-the-top-of-the-peak-of-expectations-August-2018_fig1_328803997 (accessed: 20.12.2023).
10. 5 Impactful Technologies from the Gartner Emerging Technologies and Trends Impact Radar for 2022. Available at: <https://www.gartner.com/en/articles/5-impactful-technologies-from-the-gartner-emerging-technologies-and-trends-impact-radar-for-2022> (accessed: 20.12.2023).
11. What's New in the 2022 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. Available at: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> (accessed: 20.12.2023).
12. Top Trends from Gartner Hype Cycle for Digital Government Technology, 2019. Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-from-gartner-hype-cycle-for-digital-government-technology-2019> (accessed: 20.12.2023).
13. Ivanov S.A., Nikol'skaya K.Yu., Radchenko G.I., Sokolinskiy L.B., Tsymbler M.L. Kontseptsiya postroeniya tsifrovogo dvoynika goroda [The concept of building a digital twin of the city], *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika, [Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational mathematics and computer science]*, 2020, vol. 9, no. 4, pp. 5-23.

14. Shpak P.S., Sycheva E.G., Merinskaya E.E. Kontsepsiya tsifrovyykh dvoynikov kak sovremennaya tendentsiya tsifrovoy ekonomiki [The concept of digital twins as a modern trend in the digital economy], *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of Omsk University. Series: Economics], 2020, vol. 18, no. 1, pp. 57-68.
15. Medvedev A.V. Tsifrovye dvoyniki territoriy dlya podderzhki prinyatiya resheniy v sfere regional'nogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya [Digital twins of territories to support decision-making in the field of regional socio-economic development], *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2020, no. 6—1, pp. 61-66.
16. Kokorev D.S., Yurin A.A. Tsifrovye dvoyniki: ponyatie, tipy i preimushchestva dlya biznesa [Digital twins: concept, types and benefits for business], *Colloquium-Journal*, 2019, no. 10—2 (34), pp. 101-104.
17. Chuba A.Yu., Storozhev I.I. Kadrovye problemy ispol'zovaniya tekhnologii tsifrovyykh dvoynikov v zhivotnovodstve [Personnel problems of using digital twin technology in livestock farming], *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2021, no. 8 (133), pp. 1354-1358.
18. Sosfenov D.A., Shakhova M.S. Primenenie tekhnologii tsifrovyykh dvoynikov v Rossii: vozmozhnosti razvitiya i sderzhivayushchie faktory [Application of digital twin technology in Russia: development opportunities and limiting factors], *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management] 2023, vol. 29, no. 11, pp. 1325-1332.
19. Massel' L.V., Massel' A.G., Kopaygorodskiy A.N. Evolyutsiya tekhnologiy issledovaniy energetiki i primeneniya ikh rezul'tatov: ot matematicheskikh modeley i komp'yuternykh programm k tsifrovym dvoynikam i tsifrovym obrazam [Evolution of energy research technologies and application of their results: from mathematical models and computer programs to digital twins and digital images], *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii* [Information and mathematical technologies in science and management], 2019, no. 4 (16), pp. 5-19.
20. Voropay N.I., Massel' L.V., Kolosok I.N., Massel' A.G. IT-infrastruktura dlya postroeniya intellektual'nykh sistem upravleniya razvitiem i funktsionirovaniem sistem energetiki na osnove tsifrovyykh dvoynikov i tsifrovyykh obrazov [IT infrastructure for building intelligent management systems for the development and operation of energy systems based on digital twins and digital images], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika* [News of the Russian Academy of Sciences. Energy], 2021, no. 1, pp. 3-13.
21. Zuenkova Yu.A. Opyt i perspektivy primeneniya tsifrovyykh dvoynikov v obshchestvennom zdravookhraneni [Experience and prospects for using digital twins in public health], *Menedzher zdravookhraneniya* [Healthcare Manager], 2022, no. 6, pp. 69-77.
22. Kramm M.N., Bezborodova O.E., Bodin O.N., Svetlov A.V. Tsifrovoy dvoynik serdtsa [Digital twin of the heart], *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'* [Measurement. Monitoring. Management. Control], 2021, no. 1 (35), pp. 73-84.
23. Feoktistov A.G., Kostromin R.O., Sidorov I.A., Gorskiy S.A., Basharina O.Yu. Tsifrovye dvoyniki protsessov raboty prirodosberegayushchego oborudovaniya infrastruktornogo ob'ekta [Digital twins of the operating processes of environmentally friendly equipment of an infrastructure facility], *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2021, no. 1, pp. 57-62.
24. Abdrakhmanova K.N., Fedosov A.V., Idrisova K.R., Danieva I.R., Valeeva R.R. Obzor sovremennykh programmnykh kompleksov i kontseptsii tsifrovogo dvoynika dlya prognozirovaniya avariynykh situatsiy na ob'ektakh neftegazovoy otrasli [Review of modern software systems and the concept of a digital twin for predicting emergency situations at oil and gas industry facilities], *Neftegazovoe delo : elektron. nauch. zhurn* [Electronic scientific journal "Oil and Gas Business"], 2020, no. 3, pp. 71-91.
25. Rimszkaja O.N., Anohov I.V. Cifrovye dvoyniki i ih primenenie v jekonomike transporta [Digital twins and their application in transport economics], *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment* [Strategic decisions and risk management], 2021, vol. 12, no. 2, pp. 127-137.
26. Shevchenko D.V. Metodologiya postroeniya cifrovyykh dvoynikov na zheleznodorozhnom transporte [Methodology for constructing digital twins in railway transport], *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2021, vol. 80, no. 2, pp. 91-99.
27. Ivanova I.B., Vasil'eva A.Ju. "Cifrovoy dvoynik" zdaniya: otlichie ot BIM-tehnologij, istochniki jeffektivnosti primeneniya v zhilishhno-kommunal'nom hozjajstve ["Digital twin" of a building: difference from BIM technologies, sources of efficiency of application in housing and communal services], *Sotsial'no-jekonomicheskoe upravlenie: teorija i praktika* [Socio-economic management: theory and practice], 2021, no. 2 (45), pp. 43-49.
28. Kuprijanovskij V.P., Klimov A.A., Voropaev Ju.N., Pokusaev O.N., Dobrynin A.P., Ponkin I.V., Lysogorskiy A.A. Cifrovye dvoyniki na baze razvitiya tekhnologij BIM, svjazannye ontologijami, 5G, IOT i smeshannoj real'nost'ju dlja ispol'zovaniya v infrastrukturykh proektah i IFRABIM [Digital twins based on the development of BIM technologies, connected by ontologies, 5G, IOT and mixed reality for use in infrastructure projects and IFRABIM], *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, vol. 8, no. 3, pp. 55-74.
29. Juhanov S.S., Zuev D.V., Bochkarjov S.V., Fedorov A.A. Preimushhestva tekhnologii cifrovogo dvoynika infrastruktury [Advantages of infrastructure digital twin technology], *Avtomatika, svjaz', informatika* [Automation, communications, informatics], 2021, no. 4, pp. 25-27.
30. Badenko V.L., Bol'shakov N.S., Fedotov A.A., Jadykin V.K. Cifrovye dvoyniki slozhnykh tehnikeskikh sistem v Industrii 4.0: bazovye podhody [Digital twins of complex technical systems in Industry 4.0: basic approaches], *Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Jekonomicheskie nauki* [Scientific and Technical Journal of the St. Petersburg State Polytechnic University. Economic Sciences], 2020, vol. 13, no. 1, pp. 20-30.
31. Abramov V.I., Boboev D.S., Gil'manov T.D., Semenov K.Ju. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sozdaniya cifrovogo dvoynika kompanii [Theoretical and practical aspects of creating a digital twin of a company], *Voprosy innovacionnoj jekonomiki* [Issues of innovative economics], 2022, vol. 12, no. 2, pp. 967-980.
32. Jakovleva E.A., Tolochko I.A., Kim A.A., Chernjaeva A.A. Cifrovaja transformacija sistemy planirovaniya na osnove cifrovogo dvoynika [Digital transformation of the planning system based on a digital twin], *Kreativnaja jekonomika* [Creative Economy], 2021, vol. 15, no. 7, pp. 2811-2826.
33. Vihman V.V., Romm M.V. "Cifrovye dvoyniki" v obrazovanii: perspektivy i real'nost' ["Digital twins" in education: prospects and reality], *Vysshhee obrazovanie v Rossii* [Higher education in Russia], 2021, vol. 30, no. 2, pp. 22-32.

34. Volokitin Ju.I., Grin'ko O.V., Kuprijanovskij V.P., Korzun A.V., Almazov A.A., Pokusaev O.N., Zhabickij M.G. Cifrovye dvojniki znanij i ontologii dlja vysshego tehnologicheskogo obrazovanija [Digital twins of knowledge and ontologies for higher technological education], *International Journal of Open Information Technologies [International Journal of Open Information Technologies]*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 128–144.
35. Pregolato M., Gunner S., Voyagaki E., De Risi R., Carhart N., Gavriel G., Tully P., Tryfonas T., Macdonald J., Taylor C. Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure, *Automation in Construction*, vol. 141, September 2022, 104421, doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104421.36. Ferré-Bigorra J., Casals M., Gangolells M. The adoption of urban digital twins, *Cities*, vol. 131, 2022, December, 103905, doi.org/10.1016/j.cities.2022.103905.
37. Attaran M., Gokhan Celik B. Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities, *Decision Analytics Journal*, vol. 6, 2023, March, 100165, doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165.
38. Cureton P., Dunn N. Chapter 14 — Digital twins of cities and evasive futures, *Shaping Smart for Better Cities*, 2021, 1, pp. 267—282, doi.org/10.1016/B978-0-12-818636-7.00017-2.
39. Binyu Lei, Patrick Janssen, Jantien Stoter, Filip Biljecki Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey, *Automation in Construction*, vol. 147, 2023, March, 104716, doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104716.
40. Sin Yong Teng, Michal Touš, Wei Dong Leong, Bing Shen How, Hon Loong Lam, Vítězslav Máša Recent advances on industrial data-driven energy savings: Digital twins and infrastructures, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, 2021, January, 110208, doi.org/10.1016/j.rser.2020.110208.
41. Shengli W. Is Human Digital Twin possible? , *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, vol. 1, 2021, 100014, doi.org/10.1016/j.cmpbup.2021.100014.
42. Juan Manuel Davila Delgado, Lukumon Oyedele. Digital Twins for the built environment: learning from conceptual and process models in manufacturing, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 49, 2021, August, 101332, doi.org/10.1016/j.aei.2021.101332.
43. Zheng Xu, Tanghan Jiang, Nan Zheng. Developing and analyzing eco-driving strategies for on-road emission reduction in urban transport systems — A VR-enabled digital-twin approach, *Chemosphere*, vol. 305, 2022, October, 135372, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135372.
44. Wuyan Long, Zhikang Bao, Ke Chen, S. Thomas Ng, Ibrahim Yahaya Wuni Developing an integrative framework for digital twin applications in the building construction industry: A systematic literature review, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 59, 2024, January, 102346, doi.org/10.1016/j.aei.2023.102346.
45. Cheng Liu, Peining Zhang, Xuebing Xu. Literature review of digital twin technologies for civil infrastructure, *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*. vol. 2, issue 3, 2023, September, 100050, doi.org/10.1016/j.jiintel.2023.100050.
46. Kolade Arisekola, Katherine Madson. Digital twins for asset management: Social network analysis-based review, *Automation in Construction*, vol. 150, 2023, June, 104833, doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104833.
47. Marco Macchi, Irene Roda, Elisa Negri, Luca Fumagalli Exploring the role of Digital Twin for Asset Lifecycle Management, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, issue 11, 2018, pp. 790-795, doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.415.
48. Antonio Bucchiarone. Gamification and virtual reality for digital twin learning and training: architecture and challenges, *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, vol. 4, issue 6, 2022, December, pp. 471-486, doi.org/10.1016/j.vrih.2022.08.001.
49. Krasil'nikov D.G., Sivintseva O.V., Troitskaya E.A. Sovremennye zapadnye upravlencheskie modeli: sintez NEW PUBLIC MANAGEMENT i GOOD GOVERNANCE [Modern Western management models: synthesis of NEW PUBLIC MANAGEMENT and GOOD GOVERNANCE], *Ars Administrandi (Iskusstvo upravlenija) [Ars Administrandi (The Art of Management)]*, 2014, no. 2, pp. 45–62.
50. Ochieng R.M., Visseren-Hamakers I.J., Arts B., Brockhaus M., Herold M. Institutional effectiveness of REDD + MRV: Countries progress in implementing technical guidelines and good governance requirements, *Environmental Science & Policy*, vol. 61, 2016, July, pp. 42-52, doi.org/10.1016/j.envsci.2016.03.018.

Информация об авторах

Шокин Юрий Иванович — доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (ФИЦ ИВТ), Новосибирск, Российская Федерация. E-mail: shokin@ict.nsc.ru

Бобров Леонид Куприянович — доктор технических наук, профессор кафедры бизнес-аналитики, учета и статистики, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории устойчивого развития социально-экономических систем, Сибирский институт управления — филиал РАНХиГС, профессор кафедры прикладной информатики, Новосибирский государственный университет экономики и управления «НИИХ», Новосибирск, Российская Федерация. E-mail: l.k.bobrov@nsuem.ru

Information about the authors

Yury I. Shokin — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Advisor, Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: l.k.bobrov@nsuem.ru

Leonid K. Bobrov — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Business Analytics, Accounting and Statistics, Chief Researcher, Research Laboratory for «Sustainable Development of Socio-Economic Systems», Siberian Institute of Management — branch of RANEPА, Professor of the Department of Applied Informatics, Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: l.k.bobrov@nsuem.ru

Статья поступила в редакцию 30.01.2024; одобрена после рецензирования 10.02.2024; принята к публикации 11.02.2024.

The article was submitted 30.01.2024; approved after reviewing 10.02.2024; accepted for publication 11.02.2024.