

Оригинальная статья / Original article

УДК 338.1

<https://doi.org/10.21869/2223-1552-2024-14-6-283-294>

Особенности развития рынка цифровых двойников

А. А. Кравченко¹ ✉

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Ленинские горы, д. 1, г. Москва 119991, Российская Федерация

✉ e-mail: kravchenko.anastasia35@gmail.com

Резюме

Актуальность. Текущее состояние и перспективы дальнейшей диффузии цифровых двойников в бизнес-процессы промышленных компаний указывают на растущий интерес к рынку технологии цифровых двойников. В первую очередь это связано с научно-техническим прогрессом, наращиванием зрелости самих технологических решений, что открывает новые возможности для бизнеса. Во-вторых, в связи с расширением компетенций руководителей в области извлечения коммерческих выгод, достижения социальных, экологических и технологических эффектов решения в виде двойников способствуют росту конкурентоспособности компании в условиях цифровой трансформации.

Целью исследования является выявление особенностей, присущих рынку цифровых двойников.

Задачи: изучить рынок цифровых двойников; проанализировать кейсы внедрения цифровых двойников на глобальном и российском рынке; выявить тренды на рынке цифровых двойников.

Методология исследования включает в себя анализ данных динамики рынков, аналитических отчетов, методы систематизации, графического представления данных.

Результаты. Были выявлены особенности в развитии рынка цифровых двойников как на глобальном уровне, так и на российском. При анализе финансовых показателей рынка ЦД наблюдается положительный прирост год к году, что подчеркивает не только большой потенциал технологии, но и растущий спрос на цифровые решения на основе двойников. Проведенный анализ выявил растущую тенденцию компаний на внедрение «целостных цифровых двойников», что увеличивает зависимость от одного поставщика.

Выводы. Мировой рынок технологии цифровых двойников представлен промышленными цифровыми гигантами. Российский рынок на текущий момент очень зависим от государственного заказа, частный бизнес не формирует большого спроса. Однако российские ЦД обладают большим экспортным потенциалом. На рынке наблюдается тренд на переход от установки отдельных элементов ЦД от разных провайдеров к внедрению единого платформенного ЦД от одного поставщика и интеграцию в него всех корпоративных систем.

Ключевые слова: цифровой двойник; Индустрия 4.0; цифровое моделирование; бизнес-процессы; цифровизация; цифровая трансформация.

Конфликт интересов: В представленной публикации отсутствует заимствованный материал без ссылок на автора и (или) источник заимствования, нет результатов научных работ, выполненных автором публикации лично и (или) в соавторстве, без соответствующих ссылок. Автор декларирует отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Кравченко А. А. Особенности развития рынка цифровых двойников // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2024. Т. 14, № 6. С. 283–294. <https://doi.org/10.21869/2223-1552-2024-14-6-283-294>

Поступила в редакцию 12.10.2024

Принята к публикации 11.11.2024

Опубликована 27.12.2024

Peculiarities of the development of the digital twins market

Anastasia A. Kravchenko¹ ✉

¹ Lomonosov Moscow State University
1 Leninskie Gory Str., Moscow 119991, Russian Federation

✉ e-mail: kravchenko.anastasia35@gmail.com

Abstract

Relevance. The current state and prospects for further diffusion of digital twins into the business processes of industrial companies indicate a growing interest in the digital twin technology market. First of all, this is due to scientific and technological progress, increasing the maturity of technological solutions themselves, which opens up new business opportunities. Secondly, due to the expansion of the competencies of managers in the field of extracting commercial benefits, achieving social, environmental and technological effects, solutions in the form of twins contribute to the growth of the company's competitiveness in the context of digital transformation.

The purpose of the study is to identify the features inherent in the digital twin's market.

Objectives: to study the digital twins' market; to analyze the cases of the introduction of digital twins in the global and Russian markets; to identify trends in the digital twins' market

Methodology. The research methodology includes the analysis of market dynamics data, analytical reports, methods of systematization, graphical representation of data.

Results. The peculiarities in the development of the digital twins' market were identified both at the global level and in Russia. When analyzing the financial indicators of the DT market, there is a positive increase year-on-year, which highlights not only the great potential of the technology, but also the growing demand for digital solutions based on twins. The analysis revealed a growing trend of companies to introduce "holistic digital twins", which increases dependence on a single supplier.

Conclusions. The global digital twin technology market is represented by industrial digital giants. The Russian market is currently very dependent on government orders, private business does not generate much demand. However, Russian CD's have great export potential. There is a trend in the market to move from installing separate data center elements from different providers to implementing a single platform data center from one supplier and integrating all corporate systems into it.

Keywords: digital twin; Industry 4.0; digital modeling; business processes; digitalization; digital transformation.

Conflict of interest: In the presented publication there is no borrowed material without references to the author and (or) source of borrowing, there are no results of scientific works performed by the author of the publication, personally and (or) in co-authorship, without relevant links. The author declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Kravchenko A.A. Peculiarities of the development of the digital twins market. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Economics, Sociology and Management*. 2024;14(6):283–294. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1552-2024-14-6-283-294>

Received 12.10.2024

Accepted 11.11.2024

Published 27.12.2024

Введение

Начиная с 1990-го г. прошлого столетия процесс становления цифровой экономики сопровождался ростом популярности цифровых технологий и научных исследований в области их диффузии во все сферы экономической деятельности [1, с. 74]. Продвижение Интернета, использование программируемых логических контроллеров (ПЛК) и информационных технологий (ИТ) для автоматизированного производства, а также

движение к полностью цифровому производственному циклу стали триггерами цифровой трансформации и позволили использовать широкий спектр приложений от управления «восходящей» цепочкой поставок, контроля и управления цехом до отслеживания продукции после ее производства [2, с. 3564].

Технологии Индустрии 4.0, среди которых Интернет вещей, аналитика больших данных, облачные вычисления, безлюдные производства и складские хо-

зйства, киберфизические системы, играют решающую роль в стимулировании преобразования текущего производства в интеллектуальное производство [3, с. 1006]. Среди новых достижений можно выделить разработку искусственного интеллекта (ИИ), устройств Интернета вещей (IoT) и цифровых двойников (ЦД) [4, с. 535].

Стоит отметить значительный рост рынка цифровых двойников за последние годы. Интерес промышленных компаний к этой технологии продолжает расти, так как технология дает неоспоримые преимущества в виде предиктивного обслуживания, сокращения численности персонала благодаря возможностям непрерывного мониторинга оборудования (цеха) труднодоступных скважин в режиме 24/7, повышенный уровень автоматизации, сокращение издержек на проведение исследований и экспериментов благодаря виртуальному моделированию [5, с. 627]. Технология ЦД высокопотенциальная, что не раз было упомянуто аналитиками Gartner [6]. Поэтому целью исследования является выявление особенностей, присущих рынку цифровых двойников. Задачи исследования: изучить рынок цифровых двойников; проанализировать кейсы внедрения цифровых двойников на глобальном и российском рынке; выявить тренды на рынке цифровых двойников.

Материалы и методы

Различные отрасли, включая обрабатывающую промышленность, здравоохранение, автомобилестроение, аэрокосмическую промышленность и энергетику, осознали потенциал цифровых двойников в повышении эффективности, продуктивности и инноваций [7, с. 280]. Рынок включает в себя продуктовых цифровых двойников, системных цифровых двойников и процессных цифровых двойников, при этом сегмент «Цифровой двойник продукта» доминирует благодаря своей решающей роли в разработке и оптимизации продукта, обеспечивая

большую долю выручки в размере 46,3% в 2023 г. На рисунке 1 представлены данные американского аналитического агентства Markets.US. В 2023 г. объем рынка составил 11,8 млрд долл. США, практически всю долю рынка заняли продуктовые ЦД. По текущему 2024 г. даны прогнозные значения, однако уже виден значительный рост рынка (17,2 млрд долл. США) и тоже преобладает ЦД продукта. Аналитики отмечают, что среднегодовой темп роста рынка ЦД составит 46,1% и к 2033 г. достигнет 522,9 млрд долл. США. Лидирующая роль в доле рынка также будет у цифрового двойника продукта, на втором месте будет процессный ЦД, а за ним системный ЦД.

Наибольшую долю выручки приносят такие технологии, как Интернет вещей и промышленный Интернет вещей (IIoT), которые облегчают создание и эксплуатацию цифровых двойников, предоставляя необходимую инфраструктуру. Доля выручки сегмента Интернета вещей и IIoT в 2023 г. составила 28,9%. Такие отрасли, как автомобилестроение и транспорт, лидируют в области внедрения цифровых двойников, используя технологии для инноваций, повышения эффективности и безопасности, что позволило увеличить долю выручки до 22,0% в 2023 г.

Северная Америка доминирует на мировом рынке цифровых двойников благодаря своей мощной технологической инфраструктуре, присутствию лидеров отрасли и активной позиции в отношении цифровой трансформации, и в 2023 г. ее доля в выручке увеличилась до 37,1%.

Отрасли промышленности с помощью академических учреждений и регулирующих органов начали реализовывать концепцию «Индустрия 4.0» и внедрять технологии ЦД в бизнес-процессы, проводить научные исследования и разработки по управлению цепочками поставок, а также различных процессов производственной практики [9, с. 1796].

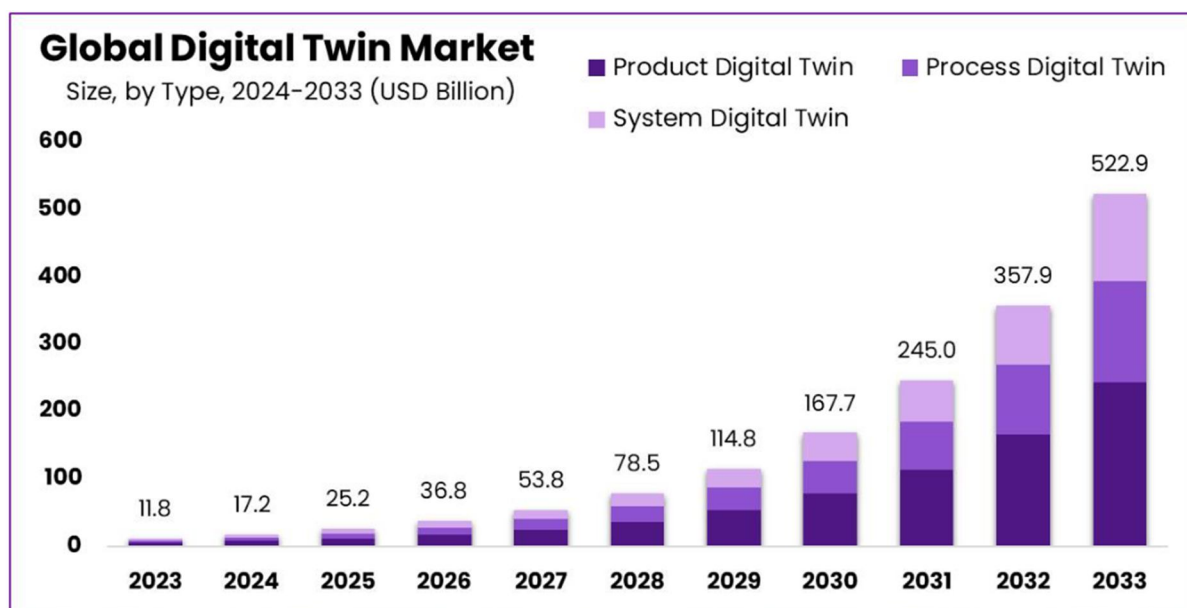


Рис. 1. Мировой рынок цифровых двойников 2023–2033 гг. [8]

Компоненты, входящие в состав цифрового двойника (физический компонент, виртуальный компонент и обмен данными между ними), применяются в различных отраслях для моделирования, мониторинга в реальном времени, контроля и оптимизации, для обработки сценариев «что, если» или подверженных риску сценариев с целью повышения эффективности процессов, анализа безопасности, технического обслуживания и принятия решений [10, с. 46].

Цифровые двойники уже успешно применяются. Например, в России разработки ведутся в крупных корпорациях и научных школах, ведущими из которых являются Санкт-Петербургский политехнический университет (СПбПУ), Национальный центр физики и математики (НЦФМ) [11], Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СК ГМИ) [12], Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова [13], Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН) [14].

Данные вопросы лежат в фокусе внимания обрабатывающей промышлен-

ности, добывающей промышленности, в частности, российскими компаниями уже достигнуты результаты по успешному внедрению цифровых двойников. Среди успешных практик можно выделить технологии цифрового двойника атомной станции госкорпорации «Росатом» («Разработка программно-технического комплекса (ПТК) «Виртуальная АЭС с ВВЭР»), цифровые двойники управления месторождениями корпорации «Газпром нефть» (Центр управления добычей «Газпромнефть-Хантос»), цифровой двойник инфраструктуры Московского центрального кольца (МЦК) с беспилотным вождением подвижного состава «Ласточка» ОАО «РЖД» и др.

Продвижение инноваций, повышение производительности труда и рост доходности находятся в приоритетной зоне при внедрении цифровых двойников [15, с. 1017]. Компании принимают решения, руководствуясь стратегическими целями сохранения устойчивости и наращивания конкурентоспособности в сложных, динамичных условиях цифровой трансформации. Также важную роль играют новые возможности для достижения социальных, экологических и технологических

эффектов на основе перспективных цифровых решений [16, с. 12].

Например, развитие технологий цифрового двойника атомной станции госкорпорации «Росатом» начали несколько лет назад, проект получил название «Разработка программно-технического комплекса (ПТК) «Виртуальная АЭС с ВВЭР». Термин «виртуально-цифровая АЭС» появился в 2013 г., в марте 2020 г. ПТК «Виртуально-цифровая АЭС» был принят в промышленную эксплуатацию. ПТК ВЦАЭС моделирует работу более 300 систем АЭС и включает расчет более 3,5 млн переменных, работает 40 предиктивных моделей для предсказания работы турбогенератора в опытно-промышленной эксплуатации, программный комплекс анализирует более 1000 параметров в режиме реального времени [17].

«В 2017 году в “Газпромнефть-Хантос”, дочернее предприятие “Газпром нефти”, занимающееся разработкой месторождений в ХМАО-Югре, был запущен Центр управления добычей (ЦУД). В среднем в каждой добывающей дочерней компании “Газпром нефть” использует более 20 цифровых двойников во всех процессах нефтедобычи. В Центре управления добычей “Газпромнефть-Хантос” данные с более 5 000 скважин поступают в цифровой двойник, на основе которого ИИ каждую минуту пересчитывает тысячи вариантов эксплуатации и выбирает лучший режим управления месторождением. В 2020 году, в рамках комплексной трансформации блока разведки и добычи “Актив будущего”, выгода от внедрения цифровых двойников превысила 2 млрд руб.» [18].

В 2021 г. ОАО «РЖД» был внедрен проект цифрового двойника инфраструктуры Московского центрального кольца (МЦК) с беспилотным вождением подвижного состава «Ласточка» на основе решений искусственного интеллекта,

включая компьютерное зрение, нейронные сети и др. Корпорация работает с цифровым следом клиентов, как грузоотправителей, так и пассажиров. «Благодаря цифровым двойникам ОАО “РЖД” уже на март 2021 года удалось избежать дополнительных затрат на этапе проектирования, принятый в ОАО “РЖД” подход к созданию “цифровых двойников” определяет четыре основных блока данных для их создания: статичные объекты (например, верхнее строение пути и др.); динамичные объекты (например, локомотивы); процессы (в первую очередь управленческие); параметры внешней среды (например, макроэкономические или маркетинговые данные). Наличие этих четырёх элементов, дополненных алгоритмами пересчёта показателей, позволит моделировать различные сценарии и прогнозировать будущее состояние объекта. “Цифровой двойник” будет обладать предсказательной функцией. В идеале цифровой двойник должен быть обучаемой или даже самообучаемой системой» [19]. По мнению заместителя генерального директора ОАО «РЖД», «Цифровой двойник Российских железных дорог позволит более качественно и быстро принимать управленческие решения. Чем больше ты про себя знаешь, чем быстрее ты можешь смоделировать то или иное решение и выбрать подходящий вариант. Цифровой двойник дает возможность понять, как будут себя вести в разных ситуациях разнообразные элементы компании – части единого организма» [20].

В мире цифровые двойники завоевали лидерскую позицию в направлении исследований по разработке новейших технологий «Индустрия 4.0». Гиганты химической отрасли (BASF, LG Chem) успешно применяют их в своих биотехнологических производствах. Так, цифровые близнецы используются и на нефтяном месторождении имени Юхана

Свердруп норвежской компании Equinor [21]. Корпорация BP использует виртуальные модели производственных систем на базе системы моделирования APEX с 2017 г., что позволило увеличить мировой объем добычи нефти на 30 тыс. баррелей. Цифровые двойники в компании BP осуществляют мониторинг нефтяных трубопроводов, скважин, а также всей технической инфраструктуры в труднодоступных местах. По данным компании, с помощью технологии цифровых двойников стало возможным строить цифровые модели любых объектов за 20 минут, хотя раньше это занимало до 30 часов [18].

Несмотря на практическую реализацию проектов в области ЦД в промышленности, вопрос уточнения и дальнейшей проработки концептуальных основ ЦД, исследования особенностей реализации проектов ЦД на практике остается важной научной задачей.

Результаты и их обсуждение

Важно отметить растущую значимость использования цифровых двойников компаниями, которую подчеркивают аналитики Gartner. В своем исследовании, которое было проведено в 2020 г. и включило более 400 респондентов из компаний в США, Великобритании, Германии, Австралии, Сингапуре и Индии, Gartner приводит следующие данные: в результате COVID-19 31% респондентов опроса заявили, что они используют цифровых двойников для повышения безопасности своих сотрудников или клиентов, например, используют удаленный мониторинг активов для уменьшения частоты личного мониторинга пациентов больниц и шахт в горнодобывающей промышленности. Опрос показал, что 27% компаний планируют использовать цифровых двойников в качестве автономного оборудования, роботов или транспортных средств. Также Gartner

ожидает, что к 2023 г. треть компаний среднего и крупного размера, внедривших Интернет вещей, внедрит хотя бы один цифровой двойник, связанный со сценарием использования, мотивированным COVID-19 [22].

При проведении данного исследования была составлена классификация провайдеров услуг цифрового моделирования на основе аналитического отчета агентства MarketsandMarkets [6]. На рисунке 2 видно, что технология цифровых двойников представляет собой конвергенцию технологий Индустрии 4.0, для функционирования которой необходимы беспроводные сенсорные сети, технологии машинного и глубоко обучения, набор киберфизических систем, подключение 4 и 5G, блокчейн и человеко-машинный интерфейс. Ключевыми игроками мирового рынка ЦД являются General Electric (США), IBM (США), PTC (США), Microsoft Corporation (США), Siemens AG (Германия), ANSYS (США), SAP (Германия), Oracle (США), Robert Bosch (Германия) и SWIM.AI (США).

Основными же технологиями, которые формируют цифровой двойник, являются прототип и экземпляр цифрового двойника, датчики, обеспечивающие двусторонний обмен данными и промышленный Интернет вещей (IIoT) [23, с. 4]. Для удобства на рисунке 2 компании-вендоры, которые предлагают технологические решения для схожих технологий, разбиты на семь категорий, в каждой из которых представлены наиболее значимые компании-вендоры. Примечательно, что только лишь небольшое количество компаний провайдеров из колонки «Поставщики решений цифровых двойников» занимается созданием целостного ЦД, большинство же компаний разрабатывают и поставляют на рынок лишь отдельные, входящие в состав ЦД, технологии.

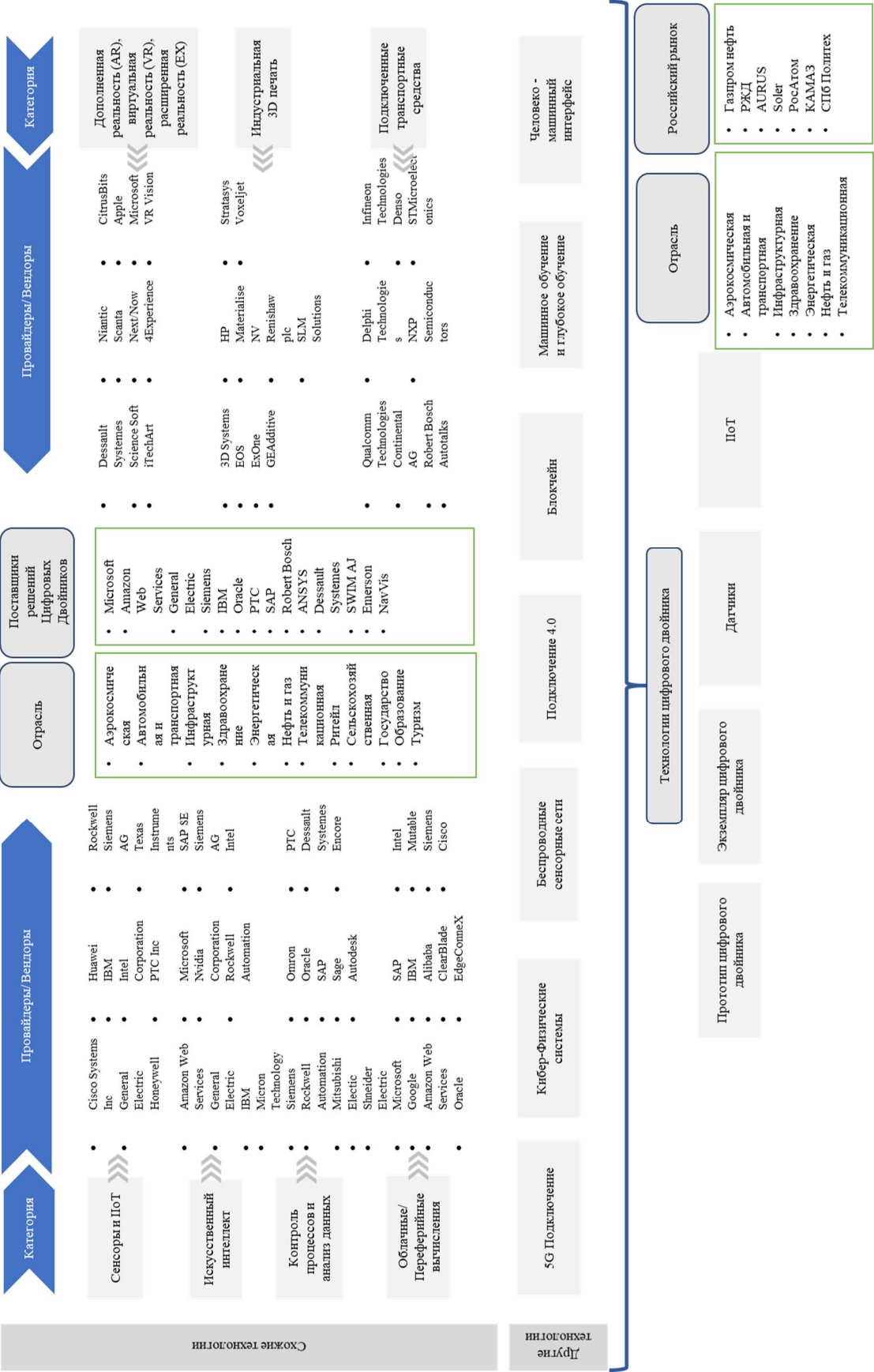


Рис. 2. Ключевые провайдеры услуг цифрового моделирования [6]

С одной стороны, в этом есть некое преимущество, что одну и ту же технологию можно спроектировать у разных поставщиков, что исключает зависимость от одного вендора, с другой – у разных компаний могут быть разные платформы и соединить несколько технологий может быть весьма проблематично [24, с. 99]. Характеризуя российский рынок, сразу стоит отметить очень малое количество компаний, которые производят целостный цифровой двойник. Если по отраслям, в которых применяются цифровые двойники, у российского рынка нет значимых отличий от зарубежного, двойники применяются во всех ключевых отраслях, указанных в стратегии технологического развития РФ 2030 [8]. По части компаний-вендоров российский рынок представлен крупными госкорпорациями и ведущими научно-исследовательскими школами. Для российского рынка запрос на создание и внедрение идет зачастую со стороны государства на стратегические нужды либо со стороны корпораций, отождествляемых с государством, для бизнес-сообщества в РФ цифровые двойники – достаточно редкое явление. Они имеют нишевой характер.

С учетом сложившейся конъюнктуры рынка доступ российских компаний к цифровым двойникам ведущих зарубежных компаний крайне затруднителен. Кроме того, имеются высокие риски, что уже закупленные технологии перестанут поддерживаться провайдером, а доступ к обновлениям будет заблокирован. Таким образом, увеличится риск безопасности данных и уязвимости к фродовым операциям.

Выводы

Конвергенция цифрового и физического мира позволяет принимать разум-

ные решения в каждой точке производственных операций, что способствует созданию интеллектуальной производственной среды, управляемой данными. Будущее за развитием технологий AI, IoT и PoT, которые становятся ключевым фактором все большей диффузии цифровых двойников.

Влияние технологии цифровых двойников на бизнес-процессы в промышленных компаниях нельзя недооценивать. Исходя из анализа и сопоставления опыта внедрения двойников компаниями-лидерами рынка, консалтинговых агентств и теоретико-прикладных разработок научных школ, технологию цифровых двойников можно охарактеризовать как критически важную для инфраструктуры и производительности, которая позволяет добиться значимой экономии ресурсов, временных затрат, повышению производительности оборудования и труда за счет обеспечения непрерывного мониторинга состояния в режиме реального времени.

Отдельно стоит отметить, что рынок цифровых двойников с каждым годом растет и потенциал роста сохраняется на высоком уровне за счет расширения отраслей промышленности, которые видят потенциал и готовы внедрять данную технологию. В ходе анализа ключевых компаний-вендоров цифрового оборудования выявлена тенденция перехода от производства отдельных частей / элементов цифрового двойника к созданию и производству целостного цифрового двойника. Таким образом, компании подстраиваются под запрос рынка на готовые кастомизированные решения, что, в свою очередь, позволяет говорить о том, что технология переходит из нишевой в разряд пока еще не массовой, но уже на уровень широко используемой технологии.

Поэтому компаниям, которые пока еще находятся на стадии оценки перспективности технологии цифровых двойников, следует обратить внимание на то, что научно-технический прогресс, диффузия технологий ведут к стремительному появлению новых драйверов конку-

рентоспособности, необходимо вовремя их сканировать и уметь оценивать потенциал внедрения перспективных технологий в производственный цикл, чтобы не пропустить момент, когда эти они станут приоритетными и будут влиять на конкурентоспособность у конкурентов.

Список литературы

1. Лapidус Л. В., Полякова Ю. М. Гигономика как новая социально-экономическая модель: развитие фрилансинга и краудсорсинга // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2018. № 6. С. 73-89.
2. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data / F. Tao, J. Cheng, Q. Qi, M. Zhang, H. Zhang, F. Sui // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2018. N 94. P. 3563–3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
3. Litster J., Bogle I. D. L. Smart Process. Manufacturing for Formulated Products // Engineering. 2019. N 5. P. 1003–1009. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.02.014>
4. The modelling and operations for the digital twin in the context of manufacturing / J. Bao, D. Guo, J. Li, J. Zhang // Enterp. Inf. Syst. 2018. N 13. P. 534–556. <https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1526324>
5. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era / L. Damiani, M. Demartini, G. Guizzi, R. Revetria, F. Tonelli // IFAC-PapersOnLine. 2018. N 51. P. 624–630. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.388>
6. Gartner Survey Reveals 47% of Organizations Will Increase Investments in IoT Despite the Impact of COVID-19. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-10-29-gartner-survey-reveals-47-percent-of-organizations-will-increase-investments-in-iot-despite-the-impact-of-covid-19-> (дата обращения: 23.09.2024).
7. Боровков А. И. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. 492 с.
8. Digital twin market size, share, statistics and industry growth analysis report by application. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html> (дата обращения: 11.09.2024).
9. Steinwandter V., Borchert D., Herwig C. Data science tools and applications on the way to Pharma 4.0 // Drug Discov. Today. 2019. N 24. P. 1795–1805. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2019.06.005>
10. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review / D. Jones, C. Snider, A. Nassehi, J. Yon, H. Ben // CIRP J. Manuf. Sci. Technol. 2020. N 29. P. 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>
11. Ученые сообщили, что к 2035 году в России может появиться цифровой двойник человека. URL: <https://rfi.mnr.gov.ru/news/news-rfi/uchenye-soobshchili-cto-k-2035-godu-v-rossii-mozhet-poyavitsya-tsifrovoy-dvoynik-cheloveka> (дата обращения: 28.09.2024).
12. В СКФО научились создавать «цифровых двойников» горных рудников. URL: <https://rg.ru/2024/01/11/reg-skfo/uchenye-skfo-nauchilis-sozdavat-cifrovyyh-dvoynikov-gornyh-rudnikov.html> (дата обращения: 28.09.2024).

13. В Сеченовском университете создают цифровые двойники кардиологических и онкологических заболеваний. URL: <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-podvedomstvennykh-uchrezhdeniy/50272/> (дата обращения: 28.09.2024).
14. Центр НТИ СПбПУ посетила команда разработчиков цифрового двойника Центра коллективного пользования «СКИФ». URL: <https://nticenter.spbstu.ru/news/8323> (дата обращения: 28.09.2024).
15. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification / W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, W. Sihn // IFAC-PapersOnLine. 2018. N 51. P. 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
16. NASA Technology Roadmaps TA11: Modeling, Simulation, Information Technology, and Processing. URL: https://www.lpi.usra.edu/sbag/goals/capability_inputs/2015_Tech_11_modeling_simulation.pdf (дата обращения: 07.09.2024).
17. Заглянуть в будущее. URL: <https://atomvestnik.ru/2021/12/22/zagljanut-v-budushhee/> (дата обращения: 20.09.2024).
18. Как цифровые двойники помогают добывать нефть и газ. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613895d29a79477154fec314?from=copy> (дата обращения: 20.09.2024).
19. Встреча с «двойником». URL: <https://gudok.ru/vestnik-ct/?ID=1499428&archive=2020.04.01> (дата обращения: 15.09.2024).
20. Цифровые двойники на марше. URL: <https://gudok.ru/vestnik-ct/?ID=1585175&archive=2021.10.29> (дата обращения: 15.09.2024).
21. Digital twins are propelling the oil and gas industry into the future of asset optimization. URL: <https://www.nsenergybusiness.com/features/digital-twins-oil-gas/> (дата обращения: 22.09.2024).
22. Как цифровые двойники помогают добывать нефть и газ. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613895d29a79477154fec314?from=copy> (дата обращения: 22.09.2024).
23. Grieves M., Vickers J. Origins of the digital twin concept // Florida Institute of Technology. 2016. N 8. P. 3-20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609>
24. Future modeling and simulation of CPS-based factories: an example from the automotive industry / S. Weyer, T. Meyer, M. Ohmer, D. Gorecky, D. Zühlke // IFAC-PapersOnLine. 2016. N 49 (31). P. 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.168>

References

1. Lapidus L.V., Polyakova Yu.M. Economics as a new socio-economic model: the development of freelancing and crowdsourcing. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk = Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2018;(6):73-89 (In Russ.)
2. Tao F., Cheng J., Qi Q., Zhang M., Zhang H., Sui F. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018;(94):3563–3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
3. Litster J., Bogle I.D.L. Smart Process. Manufacturing for Formulated Products. *Engineering*. 2019;(5):1003–1009. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.02.014>

4. Bao J., Guo D., Li J., Zhang J. The modelling and operations for the digital twin in the context of manufacturing. *Enterp. Inf. Syst.* 2018;(13):534–556. <https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1526324>
5. Damiani L., Demartini M., Guizzi G., Revetria R., Tonelli F. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era. *IFAC-PapersOnLine*. 2018;(51):624–630. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.388>
6. Gartner Survey Reveals 47% of Organizations Will Increase Investments in IoT Despite the Impact of COVID-19. Available at: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-10-29-gartner-survey-reveals-47-percent-of-organizations-will-increase-investments-in-iot-despite-the-impact-of-covid-19-> (accessed 23.09.2024).
7. Borovkov A.I. Digital twins in the high-tech industry. St. Petersburg: POLITEKH-PRESS; 2022. 492 p. (In Russ.)
8. Digital twin market size, share, statistics and industry growth analysis report by application. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html> (accessed 11.09.2024).
9. Steinwandter V., Borchert D., Herwig C. Data science tools and applications on the way to Pharma 4.0. *Drug Discov. Today*. 2019;(24):1795–1805. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2019.06.005>
10. Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Ben H. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 2020;(29):36–52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>
11. Scientists have reported that by 2035, a digital human double may appear in Russia (In Russ.) Available at: <https://rfi.mnr.gov.ru/news/news-rfi/uchenye-soobshchili-chto-k-2035-godu-v-rossii-mozhet-poyavitsya-tsifrovoy-dvoynik-cheloveka> (accessed 28.09.2024).
12. The North Caucasus Federal District has learned how to create "digital twins" of mining mines. (In Russ.) Available at: <https://rg.ru/2024/01/11/reg-skfo/uchenye-skfo-nauchilis-sozdavat-cifrovyyh-dvoynikov-gornyyh-rudnikov.html> (accessed 28.09.2024).
13. Sechenov University creates digital twins of cardiac and oncological diseases. (In Russ.) Available at: <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-podvedomstvennykh-uchrezhdeniy/50272/> (accessed 28.09.2024).
14. The NTI SPbPU Center was visited by a team of developers of the digital twin of the SKIF Center for Collective Use. (In Russ.) Available at: <https://nticenter.spbstu.ru/news/8323> (accessed 28.09.2024).
15. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*. 2018;(51):1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
16. NASA Technology Roadmaps TA11: Modeling, Simulation, Information Technology, and Processing. Available at: https://www.lpi.usra.edu/sbag/goals/capability_inputs/2015_Tech_11_modeling_simulation.pdf (accessed 17.09.2024).
17. Look into the future. (In Russ.) Available at: <https://atomvestnik.ru/2021/12/22/zagljanut-v-budushhee/> (accessed 20.09.2024).
18. How digital engines help to extract oil and gas. (In Russ.) Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613895d29a79477154fec314?from=copy> (accessed 20.09.2024).

19. Meeting with the «doppelganger». (In Russ.) Available at: <https://gudok.ru/vestnik-ct/?ID=1499428&archive=2020.04.01> (accessed 15.09.2024).
20. Digital engines on the march. (In Russ.) Available at: <https://gudok.ru/vestnik-ct/?ID=1585175&archive=2021.10.29> (accessed 15.09.2024).
21. Digital twins are propelling the oil and gas industry into the future of asset optimization. Available at: <https://www.nsenergybusiness.com/features/digital-twins-oil-gas/> (accessed 22.09.2024).
22. How digital engines help to extract oil and gas. (In Russ.) Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/613895d29a79477154fec314?from=copy> (accessed 22.09.2024).
23. Grieves M., Vickers J. Origins of the digital twin concept. *Florida Institute of Technology*. 2016;(8):3-20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609>
24. Weyer S., Meyer T., Ohmer M., Gorecky D., Zühlke D. Future modeling and simulation of CPS-based factories: an example from the automotive industry. *IFAC-PapersOnLine*. 2016;(49):97-102. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.168>

Информация об авторе / Information about the Author

Кравченко Анастасия Анатольевна, аспирант кафедры экономики инноваций, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация,
e-mail: kravchenko.anastasia35@gmail.com,
SPIN: 8442-3412,
ORCID: 0009-0004-3930-0809

Anastasia A. Kravchenko, Post-Graduate Student of the Department of Innovation Economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation,
e-mail: kravchenko.anastasia35@gmail.com,
SPIN: 8442-3412,
ORCID: 0009-0004-3930-0809