

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА РОССИЙСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Научная статья

Гостева О.В.<sup>1</sup>, Пацук О.В.<sup>2,\*</sup>

<sup>1,2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (opatsuk[at]mail.ru)

### Аннотация

В настоящее время промышленность нашей страны активно входит в Индустрию 4.0. Все большее количество предприятий внедряют в свою работу такие технологии, как промышленный Интернет вещей, киберфизические системы, искусственный интеллект и цифровые двойники. Использование этих систем вызывает необходимость поиска иных подходов к управлению организацией, а их возможности позволяют получать дополнительные данные для анализа работы различных бизнес- и производственных процессов, а также для прогнозирования и проектирования своей деятельности. В связи с этим, руководители компаний могут более оперативно изучать имеющиеся показатели, а риски похищения информации или ее перехвата минимизируются. Фирмы, которые полностью понимают и осознают ценность таких преимуществ, будут находиться в наилучшем положении на современном, быстро изменяющемся рынке.

**Ключевые слова:** промышленные предприятия, цифровизация, цифровой двойник, управление системами.

## SPECIFICS OF DIGITAL DOUBLE APPLICATION AT RUSSIAN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Research article

Gosteva O.V.<sup>1</sup>, Patsuk O.V.<sup>2,\*</sup>

<sup>1,2</sup> Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russian Federation

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

\* Corresponding author (opatsuk[at]mail.ru)

### Abstract

Nowadays, our country's industry is actively entering Industry 4.0. An increasing number of enterprises are implementing technologies such as the Industrial Internet of Things, cyber-physical systems, artificial intelligence and digital doubles in their work. The use of these systems is driving the need to find different approaches to managing an organization, and their capabilities provide additional data to analyse the performance of various business and production processes, as well as to predict and design their operations. As a result, business leaders can examine available metrics more quickly and the risks of information being stolen or intercepted are minimized. Firms that fully understand and appreciate the value of such advantages will be in the best position in today's rapidly changing marketplace.

**Keywords:** industrial enterprises, digitalization, digital double, systems management.

### Введение

Сейчас индустрия 4.0 и цифровизация всевозможных процессов, происходящих в экономике и обществе в целом, включают в себя множество различных направлений использования. Цифровой двойник, по своей сути, представляет собой только одну из существующих технологий промышленного интернета. Под цифровыми двойниками понимают такие виртуальные копии объектов, которые позволяют анализировать работу реальных физических устройств. Например, двойник завода способствует управлению самим предприятием, поможет оптимизировать различные операции, а копия производственного процесса, запланированного к реализации, дает возможность осуществлять текущий контроль над продуктом, который еще даже не изготовлен [1]. Благодаря технологиям цифровых двойников руководство компаний может своевременно получать необходимую объективную информацию о производительности любого оборудования, выполнять предиктивное обслуживание и удаленный мониторинг текущей ситуации в реальном времени.

В статье предложены результаты исследования, направленного на выявление особенностей применения внедрения цифровых технологий, на примере российских компаний. Цель: выявить влияние внедрения цифровых технологий на эффективность работы оборудования в системе непрерывного совершенствования деятельности.

Исходя из поставленной цели были предложены следующие задачи:

- 1) анализ необходимого масштаба применения цифрового двойника на промышленных предприятиях;
- 2) анализ деятельности компаний России в сфере внедрения цифровых технологий;
- 3) выявление тенденций, которые требуют от производителей решения стратегических задач с помощью цифрового двойника.

Авторами рассматриваются подходы к системе непрерывного совершенствования деятельности при внедрении цифровых технологий.

### Основные результаты

В 2021 году появился новый национальный стандарт – ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [2], который представляет собой первый технический документ, определяющий как именно должна происходить разработка технологии цифровых двойников.

В настоящее время цифровое проектирование использует сложные математические модели, которые все больше занимают место практических испытаний, дорогостоящих по своей себестоимости и часто имеющих длительный цикл производства как оборудования, так и необходимых сопутствующих элементов. Благодаря этому цифровые двойники, представляющие собой своего рода «умную модель», повышают качество проектируемых изделий, значительно экономят всевозможные ресурсы, способствуя созданию новой инновационной продукции [3]. Также они в состоянии проводить предиктивный анализ с помощью сбора текущей информации состояния техники через встроенные в нее датчики, что позволяет прогнозировать возможные деформации материалов и поломки [4].

По масштабу применяемых технологий можно выделить:

1. Цифровые фабрики, которые в состоянии заниматься моделированием продукции или производства с помощью гибридных и аддитивных технологий, цифрового моделирования и проектирования. В фабриках такого типа происходит цифровая сертификация, так как проводимые испытания происходят только в виртуальном формате.

2. Умные фабрики, использующие не только гибкое производство, но и автоматизацию процессов и обеспечивающие массовую кастомизацию.

3. Виртуальные фабрики используют технологии предыдущих двух типов фабрик, что позволяет им эффективно управлять цепочками поставок.

Цифровизация производственного процесса кроме снижения издержек, способствует сокращению сроков появления новинок на рынке. Такая трансформация производства в большой степени зависит от работы цифрового двойника, который в режиме текущего времени собирает всевозможную информацию, проводя виртуальные испытания различных объектов.

В настоящее время цифровые двойники активно применяются в крупных корпорациях, например, в таком холдинге, как «Российские космические системы» уже имеются результаты от внедрения технологии виртуальных испытаний ракетно-космической техники, которая использует цифровые двойники и алгоритмы машинного обучения. Применение данной методики наглядно показывает, каким образом влияет нагрузка на эффективность работы оборудования на спутниках, причем даже на первых шагах разработки проекта. Таким образом, цифровые двойники способствуют повышению надежности и качества продукции и любых работ, значительно снижают время на разработку и производство, уменьшают их себестоимость [5].

Госкорпорация «Росатом» также имеет определенные результаты применения цифровых двойников, например, в проекте «Прорыв». Так, внедрение здесь цифрового двойника позволило уменьшить объем строительства специализированных помещений более чем в 2 раза, значительно (практически на 2/3) при этом увеличилась производительность производства специализированной продукции в уменьшенном пространстве [6].

В настоящее время считается завершенным первый этап работы создания инженерно-цифровой модели производства в Кольской ГМК, который реализовывался на основе цифрового двойника. Использование данной технологии позволило уменьшить затраты на строительство и снизить уровень ошибочных инженерных решений с учетом особенностей природных условий в данной климатической зоне [7].

Таким образом, цифровой двойник активно реализуется в жизни современного производства [8]. Рынок цифровых двойников имеет множество направлений, в частности его можно рассмотреть по отраслям производства: энергетика, аэрокосмическая промышленность, нефть и газ, автомобили и т.д.

Оценка рынка цифровых двойников в 2021 году составила более чем \$10 млрд, прогнозируется, что к 2027 году он будет более \$61,5 млрд. Такой динамичный рост обусловлен скачком внедрения различных технологий, таких как цифровые двойники, используемые не только в производстве и энергетике, но и в здравоохранении, фармацевтической промышленности, 3D-печать [9].

Около 20% ведущих мировых промышленных предприятий в настоящее время уже используют цифровые двойники в своем бизнесе и техпроцессах. Более 250 российских предприятий планируют внедрить технологии цифрового двойника к 2024 году [10].

Сейчас изменилась и сама бизнес-модель производства, которую называют «производство как услуга». Это позволит эффективно осуществлять региональное производство, что особенно ценно для тяжелой промышленности, которые необходима высокая загрузка мощностей. Также надо учесть, что грамотное внедрение новых технологий требует развития бизнес-экосистемы, которая включает инвесторов, производителей активов, операторов и пользователей. Такое управление различными системами, а особенно их проектирование, становится возможным только благодаря использованию цифровых двойников на производстве [11].

Еще до недавнего времени успешные производители традиционно оптимизировали свои операции для повышения экономической эффективности для того, чтобы достичь требуемого качества продукции при наименьших затратах. Однако сейчас, в условиях глобальной цифровизации всего мира, цели, которые производители должны преследовать для обеспечения своей конкурентоспособности, изменились. В связи с этим, основные мировые тенденции требуют от производителей решения трех ключевых стратегических задач:

- повышение операционной устойчивости для устранения сбоев в цепочке поставок;
- повышение оперативности реагирования на меняющиеся требования клиентов;
- достижение целей устойчивого развития.

Используя современное программное обеспечение на различных промышленных предприятиях, производители могут моделировать и проводить испытания с помощью цифрового двойника, избегая необходимости в исследованиях нескольких физических прототипах. Используя имеющиеся данные, производители могут отслеживать условия работы как самого оборудования, так и материалов, из которых изготавливается деталь, своевременно реагируя на возможные отклонения. С каждым новым уровнем получения массива информации и источником данных цифровой двойник становится все более полным, особенно с применением самообучающегося искусственного интеллекта.

## Заклучение

Таким образом, главной особенностью применения цифровых двойников на Российских промышленных предприятиях является переход от традиционного серийного производства к гибким системам, способным подстраиваться под требования и технологии нового изделия, находящегося, в данный момент в производстве, с минимальным временем переналадки, сохраняя управление качеством и затратами. Такая методика позволяет на ранней стадии проектирования определять, как нагрузки влияют на работоспособность аппаратуры. Цифровые двойники повышают надежность и качество продукции, значительно снижают время на разработку и производство, уменьшают себестоимость работ. Они также позволяют особое внимание уделять проектированию технологических производственных процессов и их управлению. Таким образом, применение цифровых двойников на промышленных предприятиях приводит в настоящее время к смене бизнес-моделей и цепочек взаимодействия предприятий, что особенно актуально в условиях постоянно изменяющегося мира.

## Конфликт интересов

Не указан.

## Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

## Conflict of Interest

None declared.

## Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

## Список литературы / References

1. Наш взгляд на индустрию 4.0 // *bcg.com*. — URL: <https://www.bcg.com/capabilities/manufacturing/industry-4.0> (дата обращения: 05.06.2023).
2. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180928> (дата обращения: 26.06.23).
3. Пацук О.В. Методы мотивации персонала как элемент системы стратегического управления предприятиями при использовании высоких технологий для промышленности / О.В. Пацук, О.В. Гостева // *Управленческий учет*. — 2022. — № 9-3 (2022). — С. 303-310.
4. Бурцев Д.С. Инфраструктура и ресурсное обеспечение цифровой экономики / Д.С. Бурцев, Е.С. Гаврилюк, А.Г. Изотова [и др.] — СПб: Университет ИТМО, 2021. — 190 с.
5. Энрикес Д. Факторы эффективного управления в сфере информационных технологий / Д. Энрикес, Р. Перейра, Р. Альмейда [и др.] // *ФОРСАЙТ*. — М.: Форсайт, 2020. — Т. 14. — № 1. — С. 48–59.
6. Экосистемы глубоких технологий // *bcg.com*. — 2022. — URL: <https://www.bcg.com/capabilities/digital-technology-data/emerging-technologies/deep-tech> (дата обращения: 20.06.23).
7. Надеждина М.Е. Стратегия развития производственных процессов нефтехимического предприятия с использованием инструментов Индустрии 4.0: автореф. дис. ... д-ра тех. наук : 05.02.22 / Надеждина М.Е. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2021. — 22 с.
8. Гостева О.В. Проблемы формирования и реализации программы развития персонала при использовании высоких технологии для промышленности на примере предприятий ОПК Красноярского края / О. В. Гостева // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2022. — №11 (125). — URL: <https://research-journal.org/archive/11-125-2022-november/10.23670/IRJ.2022.125.34> (дата обращения: 15.06.2023). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.34
9. Рынок цифровых двойников – прогнозы 2023-2028 гг // *mordorintelligence.com*. — URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/digital-twin-market> (дата обращения: 05.05.2023).
10. Меньшаева А.А. Развитие цифровых двойников в российской промышленности / А. А. Меньшаева // *Молодой ученый*. — 2021. — № 11 (353). — С. 25-27. — URL: <https://moluch.ru/archive/353/79138/> (дата обращения: 30.06.2023).
11. Кюппер Д. Повышение устойчивости с помощью производства как услуги / Д. Кюппер // *bcg.com*. — URL: <https://www.bcg.com/publications/2022/production-as-a-service-benefits-opportunities> (дата обращения: 27.05.2023).

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Nash vzgljad na industriju 4.0 [Our view on Industry 4.0] // *bcg.com*. — URL: <https://www.bcg.com/capabilities/manufacturing/industry-4.0> (accessed: 05.06.2023). [in Russian]
2. GOST R 57700.37–2021. Komp'juternye modeli i modelirovanie. Cifrovye dvojniki izdelij. Obshhie polozhenija [Computer Models and Modelling. Digital Twins of Products. General Provisions]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180928> (accessed: 26.06.23). [in Russian]
3. Patsuk O.V. Metody motivacii personala kak jelement sistemy strategicheskogo upravlenija predpriyatijami pri ispol'zovanii vysokih tehnologij dlja promyshlennosti [Personnel Motivation Methods as an Element of the System of Strategic Management of Enterprises in the Use of High Technologies for Industry] / O.V. Patsuk, O.V. Gosteva // *Upravlencheskij uchet [Management Accounting]*. — 2022. — № 9-3 (2022). — P. 303-310. [in Russian]
4. Burtsev D.S. Infrastruktura i resursnoe obespechenie cifrovoj jekonomiki [Infrastructure and Resource Support for the Digital Economy] / D.S. Burtsev, E.S. Gavriljuk, A.G. Izotova [et al.] — SPb: ITMO University, 2021. — 190 p. [in Russian]
5. Enriquez D. Faktory jeffektivnogo upravlenija v sfere informacionnyh tehnologij [Factors of Effective Management in the Information Technology Industry] / D. Enriquez, R. Pereira, R. Almeida // *FORSAJT*. — М.: Forsajt, 2020. — Vol. 14. — № 1. — P. 48–59. [in Russian]

6. Jekosistemy glubokih tehnologij [Deep Technology Ecosystems] // bcg.com. — 2022. — URL: <https://www.bcg.com/capabilities/digital-technology-data/emerging-technologies/deep-tech> (accessed: 20.06.23). [in Russian]
7. Nadezhdina M.E. Strategija razvitija proizvodstvennyh processov neftehimicheskogo predpriyatija s ispol'zovaniem instrumentov Industrii 4.0 [Strategy of Development of Production Processes of Petrochemical Enterprise with the Use of Industry 4.0 Tools]: abst. dis. ... of PhD in Technical Sciences : 05.02.22 / Nadezhdina M.E. — Kazan: Kazan National Research Technological University, 2021. — 22 p. [in Russian]
8. Gosteva O.V. Problemy formirovanija i realizacii programmy razvitija personala pri ispol'zovanii vysokih tehnologij dlja promyshlennosti na primere predpriyatij OPK Krasnojarskogo kraja [Problems of Formation and Implementation of Personnel Development Programme in the Use of High Technology for Industry on the Example of Krasnoyarsk Krai DIC Enterprises] / O. V. Gosteva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. — 2022. — №11 (125). — URL: <https://research-journal.org/archive/11-125-2022-november/10.23670/IRJ.2022.125.34> (accessed: 15.06.2023). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.34 [in Russian]
9. Rynok cifrovyyh dvojniov – prognozy 2023-2028gg [Digital twin market – forecasts 2023-2028] // mordorintelligence.com. — URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/digital-twin-market> (accessed: 05.05.2023). [in Russian]
10. Men'shaeva A.A. Razvitie cifrovyyh dvojniov v rossijskoj promyshlennosti [Development of Digital Twins in the Russian Industry] / A. A. Men'shaeva // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. — 2021. — № 11 (353). — S. 25-27. — URL: <https://moluch.ru/archive/353/79138/> (accessed: 30.06.2023). [in Russian]
11. Kjupper D. Povyshenie ustojchivosti s pomoshh'ju proizvodstva kak uslugi [Enhancing Sustainability through Production as a Service] / D. Kjupper // bcg.com. — URL: <https://www.bcg.com/publications/2022/production-as-a-service-benefits-opportunities> (accessed: 27.05.2023). [in Russian]