



ОТКРЫТАЯ НАУКА  
издательство

Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.942.2

## ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: ТЕХНОЛОГИЯ, ФОРМИРУЮЩАЯ БУДУЩЕЕ

<sup>1</sup>Вирясов А.Р., <sup>2</sup>Мелькин М.В., <sup>3</sup>Левкин Н.Е.

ФГБОУ ВО «ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ», г. Самара, Россия (443010, г. Самара ул. Льва  
Толстого, 23), e-mail: <sup>1</sup>mirrroredge2020@mail.ru, <sup>2</sup>soultrxter@gmail.com,  
<sup>3</sup>levkin.nikita@inbox.ru

Цифровые двойники (digital twins сокр. DT) — это виртуальные копии физических объектов, систем или процессов, созданные для мониторинга, анализа и оптимизации их работы. В статье рассматриваются основные аспекты применения цифровых двойников в различных отраслях. Описываются принципы работы технологии, ее возможности для моделирования и прогнозирования. В заключении обсуждаются перспективы развития технологии цифровых двойников и ее влияние на цифровую трансформацию бизнеса и общества.

Ключевые слова: Цифровой двойник, технология моделирования, визуализация данных, прогресс.

## DIGITAL TWINS: THE TECHNOLOGY SHAPING THE FUTURE

<sup>1</sup>Viryasov A.R., <sup>2</sup>Melkin M.V., <sup>3</sup>Levkin N.E.

VOLGA REGION STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATICS,  
Samara, Russia (443010, Samara st. Lev Tolstoy, 23), e-mail: <sup>1</sup>mirrroredge2020@mail.ru,  
<sup>2</sup>soultrxter@gmail.com, <sup>3</sup>levkin.nikita@inbox.ru

Digital twins are virtual copies of physical objects, systems, or processes created to monitor, analyze, and optimize their operation. The article discusses the main aspects of the use of digital twins in various industries. The principles of the technology, its capabilities for modeling and forecasting are described. In conclusion, the prospects for the development of digital twin technology and its impact on the digital transformation of business and society are discussed.

Keywords: Digital twin, modeling technology, data visualization, progress.

### 1. Понятие цифрового двойника

#### 1.1 Определение

Цифровой двойник — это виртуальная модель физического объекта, процесса или системы, которая непрерывно обновляется данными, собираемыми с объекта в режиме реального времени. Эта модель использует технологии интернета вещей (IoT), машинного обучения и искусственного интеллекта для создания точной модели реального объекта или процесса.[1]

DT могут моделировать поведение сложных промышленных систем, отдельных машин и продуктов, а также человеческих органов.

#### 1.2 История и развитие

Идея цифровых двойников возникла в 2002 году в исследовательской работе Майкла Грейвза и начала активно развиваться с развитием IoT и технологий обработки больших данных. [2] Изначально DT применялись в аэрокосмической отрасли для мониторинга и управления сложными техническими системами, такими как самолеты и спутники. Следует отметить, что концепция цифровых двойников впервые была провозглашена как важная часть четвертой промышленной революции (Industry 4.0), основанной на массовом внедрении информационных технологий в промышленность, масштабной автоматизации бизнес-процессов и распространении искусственного интеллекта [6,с.30]

## **2. Архитектура и принципы работы цифровых двойников**

### **2.1 Структурные элементы**

DT состоит из нескольких ключевых компонентов, которые позволяют ему эффективно моделировать физический объект и взаимодействовать с ним:[3]

- Физический объект: это реальный объект или система, данные которого собираются и передаются в цифровую среду.
- Датчики и устройства IoT: устройства, установленные на физическом объекте, которые собирают данные о его состоянии и передают их в цифровую модель.
- Цифровая модель: это виртуальная копия физического объекта, которая отражает его структуру, динамику работы и поведение в различных условиях.[4]

### **2.2 Принципы работы**

Работа DT основана на постоянном взаимодействии между физическими и виртуальными объектами. Датчики, установленные на реальном объекте, собирают данные о его состоянии (например, температуру, вибрацию, износ деталей), передавая их в цифровую модель для дальнейшего анализа. Эта модель анализирует данные, сравнивает их с прогнозами и сценариями, а затем предоставляет пользователю информацию для принятия решений или автоматически оптимизирует работу системы.

Принципы работы цифрового двойника можно разбить на несколько ключевых этапов:

1. Сбор данных: Датчики собирают данные с физического объекта и передают их в облачное хранилище или локальный сервер.
2. Анализ данных: Алгоритмы машинного обучения и ИИ анализируют собранные данные, выявляют аномалии и предсказывают возможные сбои.
3. Визуализация: Операторы могут отслеживать состояние объекта через визуальные интерфейсы в режиме реального времени.

## **3. Применение цифровых двойников в различных отраслях**

### **3.1 Промышленное производство**

DT позволяют мониторить работу оборудования, предсказывать поломки и оптимизировать процессы производства. [5] Примером может служить их использование на автомобильных заводах, где симуляции позволяют не только следить за состоянием оборудования, но и моделировать различные сценарии его работы.

### **3.2 Строительство и недвижимость**

В строительстве DT помогают моделировать эксплуатацию зданий и инженерных сооружений. Они могут использоваться для проектирования, контроля за строительством и управления объектами недвижимости. Например, цифровой двойник здания может отслеживать его энергопотребление, состояние инфраструктуры и планировать профилактические работы.[6]

### **3.3 Здравоохранение**

DT находят применение в медицине, где они используются для симуляции работы человеческих органов и систем. Это помогает врачам диагностировать заболевания, прогнозировать их развитие и разрабатывать индивидуальные планы лечения.

## **4. Преимущества и недостатки использования цифровых двойников**

### **4.1 Преимущества**

Использование цифровых двойников предоставляет ряд ключевых преимуществ для бизнеса:[7]

- **Повышение эффективности:** DT позволяют оптимизировать процессы, сокращать затраты и повышать производительность.
- **Улучшение качества продукции:** симуляции позволяют выявлять дефекты на ранних стадиях и корректировать процессы.
- **Прогнозирование и управление рисками:** DT позволяют предсказывать возможные риски и предотвращать их до того, как они станут проблемой.

### **4.2 Недостатки и ограничения**

Несмотря на значительные преимущества, технология цифровых двойников сталкивается с рядом недостатков:

- **Высокая стоимость внедрения:** разработка и внедрение цифровых двойников требует значительных инвестиций в оборудование, программное обеспечение и обучение персонала.
- **Безопасность данных:** как и любые системы, работающие с большими объемами данных, DT могут быть уязвимы для кибератак.
- **Комплексность управления:** создание и поддержание цифровых двойников для сложных систем требует высококвалифицированных специалистов и постоянного мониторинга.[8]

## **5. Возможные варианты развития технологии цифровых двойников:**

Перспективы развития цифровых двойников связаны с дальнейшим совершенствованием технологий IoT, искусственного интеллекта и больших данных.

Также активно используются технологии виртуальной и дополненной реальности (**VR** и **AR**) в сочетании с цифровыми двойниками уже активно внедряются в промышленное производство, улучшая визуализацию данных и оптимизируя рабочие процессы. Например, компания Control Care, производитель турбомашин, активно использует DT, виртуальную и дополненную реальность для моделирования работы турбин. [9]

VR-прототипирование позволяет значительно сократить цикл разработки. Например, Boeing использует VR для проектирования новых самолетов. Это позволяет инженерам

тестировать эргономику кабины и систем управления в виртуальной среде, что снижает затраты на производство физической модели и время на ее тестирование. [10]

### Заключение

DT — это мощный инструмент, который меняет подходы к управлению сложными системами и объектами. Они уже сегодня находят широкое применение в промышленности, строительстве, медицине и других отраслях, помогая компаниям повышать эффективность, снижать риски и улучшать качество продукции. Несмотря на вызовы, с которыми сталкивается эта технология, ее потенциал огромен, и в ближайшие годы DT станут неотъемлемой частью цифровой трансформации бизнеса и общества.

### Список литературы

1. 5 примеров использования: как виртуальная реальность (VR) на производстве обеспечивает реальные результаты. ОПУБЛИКОВАНО 27 ИЮЛЯ 2023 Г. Е.А.А. KUIPERS URL: <https://fectar.com/blog/5-use-cases-how-virtual-reality-vr-in-manufacturing-delivers-real-results/> (дата публикации 10.09.24)
2. Дополненная реальность и цифровой двойник: современное состояние и перспективы кибербезопасности, Фабиан Бом, Маруэтер Дитц, Тобиас Прейндл и Гюнтер Пернул Дж. Кибербезопасность. Приват. 2021, 1(3), 519-538; <https://doi.org/10.3390/jcp1030026> URL: <https://www.mdpi.com/2624-800X/1/3/26> (дата обращения 10.09.24)
3. Менгер Ф.Р., Егоров Ю.: Моделирование турбулентности технических потоков с помощью SAS. В: DLES 6-6 URL: <https://www.ozeninc.com/wp-content/uploads/2021/01/Turbulence-Modeling-for-Engineering-Flows.pdf>
4. ТИТРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ Минзов А. С.1, Невский А. С.2, Баронов О. Р.3, Немчанинова С.В.4 DOI: 10.21681/2311-3456-2024-2- С.29- 35 URL-АДРЕС: <https://cyberrus.info/wp-content/uploads/2024/04/vokib-2024-2-st04-s029-035.pdf?ysclid=m1561tlai0277902124> (дата обращения 10.09.24)
5. Рассел Стюарт, Норвиг Питер. Искусственный интеллект: современный подход. 3-е изд.). Нью-Джерси: Прентис Холл, 2010. 1152 с. URL: [https://www.researchgate.net/publication/220546066\\_S\\_Russell\\_P\\_Norvig\\_Artificial\\_Intelligence\\_A\\_Modern\\_Approach\\_Third\\_Edition](https://www.researchgate.net/publication/220546066_S_Russell_P_Norvig_Artificial_Intelligence_A_Modern_Approach_Third_Edition) (дата публикации 10.09.24)
6. Здирук К. Б. Применение цифровых двойников в системах управления сложными объектами [Электронный ресурс] // URL-адрес: <https://www.semanticscholar.org/paper/Digital-twins-of-objects-in-the-solution-of-control-Minaev-Mazin/ca62fdb0c64f0b7d66848a8671ab56a2b95e5dae> (дата обращения 10.09.24)
7. Экстремальные технологии и системы URL: <https://www.extansy.com/> (дата обращения: 07.07.2019).
8. Гривз М., Виккерс Дж. - Цифровой двойник: смягчение непредсказуемого, нежелательного поведения сложных систем (2016) URL: [https://www.researchgate.net/publication/306223791\\_Digital\\_Twin\\_Mitigating\\_Unpredictable\\_Undesirable\\_Emergent\\_Behavior\\_in\\_Complex\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/306223791_Digital_Twin_Mitigating_Unpredictable_Undesirable_Emergent_Behavior_in_Complex_Systems)
9. Тао, Ф., Чжан, Х., Лю, А., Ни, А.И.К. - Интеллектуальное производство, управляемое цифровыми близнецами (2019) URL: [https://www.researchgate.net/publication/335057699\\_Digital\\_Twin-](https://www.researchgate.net/publication/335057699_Digital_Twin-)

driven\_smart\_manufacturing\_Connotation\_reference\_model\_applications\_and\_research\_issues (дата обращения 10.09.24)

10. Гривз М., Виккерс Дж. - Цифровой двойник: смягчение непредсказуемого, нежелательного поведения сложных систем (2016) URL: [https://www.researchgate.net/publication/306223791\\_Digital\\_Twin\\_Mitigating\\_Unpredictable\\_Undesirable\\_Emergent\\_Behavior\\_in\\_Complex\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/306223791_Digital_Twin_Mitigating_Unpredictable_Undesirable_Emergent_Behavior_in_Complex_Systems) (дата публикации 10.09.24)

## References

1. 5 use cases: how virtual reality (VR) in manufacturing delivers real results POSTED ON 27 JULY 2023 BY E.A.A. KUIPERS URL: <https://fectar.com/blog/5-use-cases-how-virtual-reality-vr-in-manufacturing-delivers-real-results/> (дата обращения 10.09.24)
2. Augmented Reality and the Digital Twin State-of-the-Art and Perspectives for Cybersecurity by Fabian Bohm, Maruetheres Dietz, Tobias Preindl and Gunther Pernul *J. Cybersecur. Priv.* 2021, 1(3), 519-538; <https://doi.org/10.3390/jcp1030026> URL: <https://www.mdpi.com/2624-800X/1/3/26> (дата обращения 10.09.24)
3. Menter, F.R., Egorov, Y.: SAS Turbulence Modelling of Technical Flows. In: DLES 6 - 6<sup>th</sup> URL: <https://www.izeninc.com/wp-content/uploads/2021/01/Turbulence-Modeling-for-Engineering-Flows.pdf>
4. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ Минзлов А. С.1, Невский А. Ю.2, Баронов О. Р.3, Немчанинова С.В.4 DOI: 10.21681/2311-3456-2024-2- С.29-35 URL: <https://cyberrus.info/wp-content/uploads/2024/04/vokib-2024-2-st04-s029-035.pdf?ysclid=m1561tlai0277902124> (дата обращения 10.09.24)
5. Russell Stuart, Norvig Peter. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed). New Jersey: Prentice Hall, 2010. 1152 p.. URL: [https://www.researchgate.net/publication/220546066\\_S\\_Russell\\_P\\_Norvig\\_Artificial\\_Intelligence\\_A\\_Modern\\_Approach\\_Third\\_Edition](https://www.researchgate.net/publication/220546066_S_Russell_P_Norvig_Artificial_Intelligence_A_Modern_Approach_Third_Edition) (дата обращения 10.09.24)
6. Здирук К. Б. Применение цифровых двойников в системах управления сложными объектами [Электронный ресурс] // URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Digital-twins-of-objects-in-the-solution-of-control-Minaev-Mazin/ca62fdb0c64f0b7d66848a8671ab56a2b95e5dae> (дата обращения 10.09.24)
7. Экстремальные технологии и системы URL: <https://www.extansy.com/> (дата обращения: 07.07.2019).
8. Grieves, M., Vickers, J. - Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (2016) URL: [https://www.researchgate.net/publication/306223791\\_Digital\\_Twin\\_Mitigating\\_Unpredictable\\_Undesirable\\_Emergent\\_Behavior\\_in\\_Complex\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/306223791_Digital_Twin_Mitigating_Unpredictable_Undesirable_Emergent_Behavior_in_Complex_Systems)
9. Tao, F., Zhang, H., Liu, A., Nee, A.Y.C. - Digital Twin Driven Smart Manufacturing (2019) URL: [https://www.researchgate.net/publication/335057699\\_Digital\\_Twin-driven\\_smart\\_manufacturing\\_Connotation\\_reference\\_model\\_applications\\_and\\_research\\_issues](https://www.researchgate.net/publication/335057699_Digital_Twin-driven_smart_manufacturing_Connotation_reference_model_applications_and_research_issues) (дата обращения 10.09.24)
10. Grieves, M., Vickers, J. - Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (2016) URL: [https://www.researchgate.net/publication/306223791\\_Digital\\_Twin\\_Mitigating\\_Unpredictable\\_Undesirable\\_Emergent\\_Behavior\\_in\\_Complex\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/306223791_Digital_Twin_Mitigating_Unpredictable_Undesirable_Emergent_Behavior_in_Complex_Systems) (дата обращения

Вирясов А.Р., Мелькин М.В., Левкин Н.Е. Цифровые двойники: технология, формирующая будущее // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9 № 10(48) с. 104–109

---

10.09.24)Network traffic optimization. Electronic resource. URL: [https://www.osp.ru/lan/2014/11/13043730] (accessed: 15.05.2024).

---