

Для цитирования

Рахманов М.Л. Парадигма применения цифровых двойников в промышленности / I Научно-практическая конференция, посвященная 100-летию деятельности ФГБУ «Институт стандартизации»: «Стандартизация: траектория науки», Санкт-Петербург, 9 октября 2024 года // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 6(81). С. 89–94.

УДК 006.354:004.942

ПАРАДИГМА ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рахманов М.Л., д-р техн. наук, профессор, ФГБУ «Институт стандартизации, г. Москва

В статье рассмотрена парадигма применения цифрового двойника (ЦД) в разных отраслях промышленности. Рассмотрены определения «цифровой двойник», полученные в различных источниках. Проанализированы основные особенности по созданию методических и научных подходов. Сформулированы основные задачи, которые должен решать цифровой двойник на разных стадиях производства. Отмечены перспективы развития ЦД в условиях Индустрии 4.0.

Ключевые слова: структура изделия, цифровой двойник, имитационное моделирование, эффективность и надежность.

THE PARADIGM OF USING DIGITAL TWINS IN INDUSTRY

Rakhmanov M.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Specialist of the Scientific and Expert works sector of the Russian Standardization Institute, Moscow

The article considers the paradigm of using a digital twin (DT) in various industries. The definitions of the "digital double" obtained in various sources are considered. The main features of the creation of methodological and scientific approaches are analyzed. The main tasks that the digital twin must solve both at different stages of production are formulated. The prospects for the development of DT in the context of Industry 4.0 are noted.

Keywords: product structure, digital twin, simulation modeling, efficiency and reliability.

Траектория – это линия движения. От правильного выбора приоритетных направлений движения национальной стандартизации будет зависеть технологический суверенитет и безопасность нашей страны.

Одним из приоритетных направлений, как это определяет четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0), является массовое внедрение информационных технологий в промышленность, масштабной автоматизации бизнес-процессов и распространения искусственного интеллекта (рис. 1). Именно Индустрия 4.0, впервые заявленная в Германии для поддержки автоматизации производства и интеграции производственных отраслей, своей стратегической целью наметила достижение устойчивости развития общества.

Индустрия 4.0 предоставляет новые возможности взаимодействия между человеком и машиной в условиях интеллектуальной производственной среды, основанной на киберфизических системах, которая сочетает в себе технологии промышленного Интернета вещей в рамках моделей горизонтальной и вертикальной системной интеграции. Технологическая основа включает такие ключевые элементы, как аддитивное производство, дополненная реальность, искусственный интеллект, большие данные, интеграция систем моделирования, автономные роботы, кибербезопасность и облачные вычисления (см. рис. 1) [0].



Рис. 1. Цифровые технологии в масштабе Индустрия 4.0

Одним из важнейших инструментов, способствующих реализации индустрии 4.0, являются цифровые двойники (ЦД).

Направление ЦД достаточно молодое. Оно находится в фазе активных попыток применения, набора опыта его использования, и одновременно начинается процесс формирования методологической базы.

Цифровой двойник – это цифровая (виртуальная) модель любых объектов, систем, процессов или людей. Она точно воспроизводит форму и действия оригинала и синхронизирована с ним, а также с многочисленными технологиями поддержки модели и вычислительной среды (см. рис. 2) [2].



Рис. 2. Цифровой двойник

Цифровые двойники являются важнейшим трендом процесса цифровизации, развития современной индустрии, а в ряде стран ЦД включены в число целевых технологий оборонного и космического направления. Фактически ЦД представляет собой платформу эмуляции программного и аппаратного обеспечения, управляемую данными и разрабатываемую с учетом тесного информационного взаимодействия существующих технологий цифровой трансформации (см. рис. 1) [3].

ЦД нужен, чтобы смоделировать, что будет происходить с оригиналом в тех или иных условиях [4]. Это позволяет кардинально оптимизировать все стадии жизненного цикла объекта, а также избежать вреда для людей и окружающей среды.

На рис. 3 показаны возможности применения ЦД в различных отраслях.



Рис. 3. Применение в промышленности

Добыча и переработка полезных ископаемых. ЦД помогают снизить риски при добыче и переработке нефти и газа, связанные с нанесением ущерба персоналу и окружающей среде. Именно ЦД физических систем способствуют радикальному повышению производительности отдельных видов и комплексов промышленного оборудования, а также относятся к числу ключевых факторов перехода от Индустрии 4.0 к 5.0, включая искусственный интеллект, для задач прогнозирования и профилактики отказов оборудования и возникновения аварийных ситуаций [5].

Энергетика. ЦД применяют для оптимизации работы электростанций и других объектов энергетики [6].

ИТ-инфраструктура. Можно смоделировать как отдельное устройство или сервис, так и целую сеть, рассчитав предельные нагрузки и продумав защиту от киберугроз [7].

Дизайн. Виртуальные 3D модели, получаемые на основе 3D сканирования для создания цифровых моделей объектов для задач проектирования и разработки конструкторской документации по цифровой модели, что позволяет работать со сложными криволинейными поверхностями сложных объектов [7, 9].

Транспорт и логистика. С помощью ЦД можно оптимизировать маршруты транспорта, работу технических служб и пассажиропотоки [8].

Образование. ЦД помогают изучать физические объекты и процессы в виртуальной среде, часто с использованием дополненной и смешанной реальности.

Космическая отрасль. С помощью ЦД отрабатывают и тестируют космические корабли и целые программы.

Медицина. ЦД помогают сканировать жизненные показатели в режиме онлайн, подбирать наиболее эффективное лечение и проводить операции [10].

Урбанистика. ЦД целых городов отслеживают транспортные потоки, работу коммуникаций, застройку, экологическую обстановку и энергопотребление, например в рамках моделей ЖКХ, и в частности «умного дома» [11], чтобы вносить важные изменения [10].

Сельское хозяйство. Благодаря ЦД можно просчитать климатические условия и урожай, сделав земледелие более эффективным.

Особо хочу остановиться на возможностях применения ЦД при производстве сложной наукоемкой продукции [12].

ЦД позволяет для таких изделий на различных стадиях их жизненного цикла проследить применение технических решений и их обоснованность [7, 13].

На стадии разработки – позволит улучшить качество проектирования, сократить количество проводимых испытаний опытных образцов и время на проработку конструкторской документации на технологичность [13].

На стадии производства – позволит корректировать технологическую документацию в зависимости от конкретных условий производства, определять критические точки техпроцесса и прогнозировать его соблюдение.

На стадии эксплуатации – принимать оптимальные решения по выбору системы технического обслуживания и ремонта, оценивать и прогнозировать состояние объекта и обеспечивать передачу информации для проектировщиков и изготовителей с целью совершенствования конструкции, технологии и качества изготовления.

Учитывая сложную международную обстановку применение ЦД особенно будет актуально в мозаичных платформах, которые разрабатываются для координации и управления многочисленными ресурсами, вовлеченными в решение военных и чрезвычайных ситуаций, среди которых могут быть станции, техника, группы людей, аппаратура для отслеживания сигналов и т.д. В этих случаях ЦД могут быть использованы для сбора и анализа информации и выработки оптимальных решений, в том числе и на поле боевых действий, например при планировании и обосновании тактических действий [14].

Для внедрения и широкого использования ЦД в промышленности необходимо создание методической базы, формализованной прежде всего в документах по стандартизации.

В настоящее время впервые в мире разработан стандарт ГОСТ Р 57700.37–2021¹, который заложил основу для разработки системы стандартов на ЦД. Прошло три года. Разработаны несколько предварительных национальных стандартов, чего явно недостаточно для начала повсеместного использования (разумеется, где это эффективно) ЦД. Центральным институтом авиационного моторостроения им. П.И. Баранова разработан ПНСТ 928–2024², в котором представлен рекомендуемый состав компьютерных моделей для ЦД авиационных газотурбинных двигателей, сформулированы цели применения ЦД в ходе разработки и испытаний авиационной техники.

В ноябре 2023 года сайт Международной организации по стандартизации (ИСО) сообщил о публикации нового стандарта ISO/IEC 30173:2023 «Цифровой двойник – Понятия и терминология»³, где ЦД – цифровое представление целевого объекта вместе с каналами передачи данных (data connections), обеспечивающими конвергенцию между физическим и цифровым состояниями с соответствующей скоростью синхронизации.

¹ ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. (Введ. с 2021-01-01).

² ПНСТ 928–2024. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники авиационных газотурбинных двигателей. Общие положения. (Срок действия – с 2025-01-01 до 2028-01-01).

³ ISO/IEC 30173:2023 (Digital twin - Concepts and terminology. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:30173:ed-1:v1:en> (дата обращения: 21.09.2024).

Данное определение весьма сильно коррелировано с ГОСТ Р 57700.37–2021, где ЦД – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями (п. 3.24).

Необходимо создание системы стандартов на ЦД и разработку стандартов вести на системном уровне.

На представленном рис. 4 предлагается иерархия стандартов на ЦД.



Рис. 4. Структура стандартов для ЦД

Основополагающие и дополнительные стандарты необходимо разрабатывать за счет бюджетных средств, стандарты для отраслей могут разрабатывать ассоциации производителей за свой счет. Стандарты организаций – предприятия, заинтересованные в их применении.

Для координации этой работы целесообразно создать в рамках ТК-700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные технологии» подкомитет по ЦД, а может быть, учитывая важность и сложность задачи, образовать отдельный ТК по цифровым двойникам.

Список литературы

1. Аронов И.З., Бурый А.С., Рыбакова А.М. Умная экономика замкнутого цикла: основа цифровых стратегий производственных компаний. Часть 1. Технологическая синергия индустрии 4.0 // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 4(68). С. 54–63.
2. Qi Q., Tao F., Hu T., Anwer N., et al. Enabling technologies and tools for digital twin // Journal of Manufacturing Systems. 2021. Т. 58. С. 3–21.
3. Бурый А.С. Цифровые двойники как основа парадигмы развития прикладных информационных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 6(70). С. 24–32.
4. Рахманов М.Л., Бульба Е.П. Методы имитационного моделирования в концепции цифрового двойника СМК организации // Компетентность. 2024. № 2. С. 16–21.
5. Жиронкин С.А., Коновалова М.Е. Перспективы перехода к майнингу 5.0 –геотехнологии второй половины XXI в. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2 (162). С. 45–56.
6. Салов И.В., Щербатов И.А., Салова Ю.А. Применение цифровых двойников и киберфизических систем на объектах генерации тепловой и электрической энергии // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10, № 3. С. 57–62.
7. Grieves M., Vickers J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems (excerpt) / F.-J. Kahlen et al. (eds.) // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. 2017. С. 85–113.
8. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад (сентябрь 2019 г.) / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 62 с.
9. Тараховский А.Ю. Трехмерное моделирование объекта на основе данных лазерного 3D сканирования // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2023. № 14. С. 16–19.
10. Евгеньев Р.А. Создание цифровых моделей устойчивых поселений // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4(62). С. 45–51.

11. Ситников И.И., Фролов В.А. От цифровой среды производства к технологиям интеллектуальных зданий // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 3(78). С. 33–41.
12. Будкин Ю.В. Обеспечение информационных систем и процессов разработки и внедрения наукоемкой техники межотраслевыми комплексами стандартов. Часть 2. Система «Информационные технологии» // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 2(72). С. 4–13.
13. Рахманов М.Л., Василенко Г.В., Шишкин А.В. Применение цифрового двойника в эксплуатации авиационной техники // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 2(72). С. 48–52.
14. Желтов С.Ю., Ивенин И.Б., Хохлов С.В. Роль и место функционального цифрового двойника в жизненном цикле авиационного боевого комплекса // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. № 3(133). С. 33–40.

References

1. Aronov I.Z., Buryi A.S., Rybakova A.M. Umnaya ekonomika zamknutogo cikla: osnova cifrovyyh strategiy proizvodstvennyh kompanij. Part 1. Tekhnologicheskaya sinergiya industrii 4.0 // Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2022, no. 4(68), pp. 54–63.
2. Qi Q., Tao F., Hu T., Anwer N., et al. Enabling technologies and tools for digital twin. Journal of Manufacturing Systems, 2021, vol. 58, pp. 3–21.
3. Buryi A.S. Cifrovye dvojniki kak osnova paradigmy razvitiya prikladnyh informacionnyh sistem. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2022, no. 6(70), pp. 24–32.
4. Rahmanov M.L., Bulba E.P. Metody imitacionnogo modelirovaniya v koncepcii cifrovogo dvojnika SMK organizacii. Competence, 2024, no. 2, pp. 16–21.
5. Zhironkin S.A., Konovalova M.E. Perspektivy perekhoda k majningu 5.0 –geotekhnologii vtoroj poloviny XXI v. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2024, no. 2 (162), pp. 45–56.
6. Salov I.V., Shcherbatov I.A., Salova Y.A. Primenenie cifrovyyh dvojnikov i kiberfizicheskikh sistem na ob"ektah generacii teplovoj i elektricheskoy energii. International Journal of Open Information Technologies, 2022, vol. 10, no. 3, pp. 57–62.
7. Grieves M., Vickers J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems (excerpt): F.-J. Kahlen et al. (eds.). Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, 2017, pp. 85–113.
8. Borovkov A.I., Gamzikova A.A., Kukushkin K.V., Ryabov Y.A. Cifrovye dvojniki v vysokotekhnologichnoj promyshlennosti: kratkij doklad (September, 2019). St. Petersburg: Politekh-Press Publ., 2019, 62 p.
9. Tarahovskij A.Y. Trekhmernoe modelirovanie ob"ekta na osnove dannyh lazernogo 3D skanirovaniya. Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii, 2023, no. 14, pp. 16–19.
10. Evgenov R.A. Sozdanie cifrovyyh modelej ustojchivyyh poselenij. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2021, no. 4(62), pp. 45–51.
11. Sitnikov I.I., Frolov V.A. Ot cifrovoy sredy proizvodstva k tekhnologiyam intellektual'nyh zdaniy. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2024, no. 3(78), pp. 33–41.
12. Budkin Y.V. Obespechenie informacionnyh sistem i processov razrabotki i vnedreniya naukoemkoj tekhniki mezhotraslevymi kompleksami standartov. Part 2. Sistema «Informacionnye tekhnologii». Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2023, no. 2(72), pp. 4–13.
13. Rahmanov M.L., Vasilenko G.V., Shishkin A.V. Primenenie cifrovogo dvojnika v ekspluatatsii aviacionnoj tekhniki. Information and economic aspects of standardization and technical regulation, 2023, no. 2(72), pp. 48–52.
14. Zheltov S.Y., Ivenin I.B., Hohlov S.V. Rol' i mesto funktsional'nogo cifrovogo dvojnika v zhiznennom cikle aviacionnogo boevogo kompleksa. Izvestiya Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskikh nauk, 2024, no. 3(133), pp. 33–40.