

Применение цифровых двойников в современной промышленности

Валерий Николаевич Керницкий

магистрант

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

Красноярск, Россия

edu@kemitskiy.ru

ORCID 0000-0002-1507-9562

Поступила 27.08.2023

Принята 01.09.2023

Аннотация

В начале XXI века был предложен термин "цифрового двойника" в рамках концепции "Индустрия 4.0", которая представляет собой комплекс знаний, компетенций и информации о технических объектах высокой сложности. Данный комплекс позволяет осуществлять планирование, прогнозирование и моделирование объектов на базе информации об их текущем состоянии, которая поступает в реальном времени. На данный момент все больше организаций обращает внимание на концепцию "Цифрового двойника", и если первоначально цифровые двойники были виртуальными моделями технических элементов, то сейчас начинается выпуск комплексных двойников различных процессов менеджмента организаций, в частности, систем ресурсного управления. Исследование использования цифровых двойников в различных отраслях промышленности определило ключевые области их использования, а также основные ожидаемые выгоды. Данные исследования представляют интерес для научных работников, специалистов предприятий и органов государственной власти, с целью разработки долгосрочных планов развития промышленности в рамках внедрения цифровых технологий. Данные, полученные в результате исследований, могут стать фундаментом для последующего развития концепции цифрового двойника в различных отраслях промышленности России. Выбор и обоснование системы может зависеть от множества факторов, таких как трудоемкость интеграции в действующую производственную систему, издержкостоемость, потенциал для последующего развития, особенности сервисного обслуживания, соответствие долгосрочных планам предприятия.

Ключевые слова

развитие экономики, Индустрия 4.0, развитие промышленности, VI технологический уклад, цифровые двойники.

Введение

В настоящее время основное внимание со стороны промышленности уделяется Индустрии 4.0 и процессам внедрения цифровых технологий, так как данные новые технологии оказывают значительное влияние на экономику и производство. Одной из наиболее существенных особенностей цифровой трансформации признается снижение значимости обязательной «физической» деятельности: присутствия, испытательных операций, реализации производственных объектов. Параллельно происходит замена физических объектов цифровыми двойниками в производстве. Концепции и технологии цифровых двойников являются наиболее важными элементами кибер-физических систем и позволяют проводить менеджмент и контроль различных физических производственных задач с применением виртуальных моделей и принимать управленческие решения, базируясь на анализе большого объема информации, поступающей от объекта на производстве (Савина, 2023).

Данное исследование особенно актуально в связи с тем, что цифровые двойники являются одной из самых перспективных и востребованных технологий, которые формируют долгосрочную траекторию динамики прогресса промышленности. Проекты по модернизации промышленности уже сегодня основываются на технологии цифровых двойников (Желтикова, 2022).

Объект исследования – особенности применения цифрового двойника в условиях промышленного производства.

Предмет исследования – сфера экономических отношений, возникающих при использовании возможностей цифрового двойника.

Цель работы заключается в научном обосновании роли и значения цифрового двойника в промышленности, а также в описании его базового функционала, сфер использования и ожидаемых результатов для предприятий России.

Материалы и методы исследования

Методология исследования. Для решения поставленных задач были использованы специальные научные подходы и методологии, так как цифровой двойник представляет сложную систему, требующую всестороннего исследования. В работе были определены типы цифровых двойников, их основные функции, оценены возможности применения и т.д. Для достижения объективных результатов исследования был использован деятельностный подход, а также принципы объективности, всесторонности и развития. Кроме того, следует отметить, что исследование объекта цифрового двойника в

промышленности представляет собой сложный процесс, поскольку еще не до конца проработаны базовые стандарты, а взгляды ученых и практиков постоянно развиваются (Рудской, 2021).

Большой интерес к цифровым двойникам обусловлен тем, что это технология, находящаяся на пересечении физической и виртуальной реальности, которая прогрессирует в контексте соединения множества перспективных технологий (аддитивные производственные технологии, искусственный интеллект, интернет вещей, «умные» технологии и ряд других). Однако, недостаток достоверных статистических данных о внедрении и эксплуатации цифровых двойников в условиях промышленного производства требует применения комплекса научных методов для сбора необходимой информации, оценки опыта создания и использования цифровых двойников, подробного рассмотрения их структурных компонентов, технологий изготовления и оценки экономических критериев рынка.

В результате исследований было выявлено, что практика внедрения цифровых двойников обуславливает формирование специальных моделей, базирующихся на информации, и моделей, базирующихся на математическом моделировании различных физических явлений. При этом, оба вида моделей обладают своими положительными критериями. В условиях производства могут применяться совмещенные подходы, включающие результаты обработки информации о функционировании конкретного физического объекта и моделирование физических явлений (Болбаков, 2022).

Хотя сложно лимитировать комплекс технологий, связанных с цифровым двойником, можно отметить, что при создании цифрового двойника может применяться значительная доля информационных технологий. С точки зрения технологии, цифровые двойники являются центральными составляющими кибер-физического комплекса. Систематизация данных о выпуске цифровых двойников в условиях производства позволила выделить применяемые технологии.

Цифровые двойники могут применяться во многих отраслях промышленности. Если рассмотреть начальные типы цифровых двойников, то можно увидеть их длительное использование в области автоматизации производства. Современные же цифровые двойники не просто решают задачи по автоматизации, но позволяют существенно ускорить процессы создания опытных образцов, вывода нового продукта на рынок, а также снижения трудоемкости и затрат на тестирование. Цифровой двойник конкретного элемента изделия может помочь определить основные его недостатки еще на этапе проектирования.

Технология цифровых двойников находит применение и в космической отрасли, где дает возможность осуществлять исследования на борту космических кораблей и аппаратов, что позволяет персоналу заблаговременно выявлять и устранять различные угрозы.

Кроме того, цифровые двойники находят применение для определения различий между двумя одновременно эксплуатируемыми идентичными устройствами. Например, в автомобильной промышленности одни и те же машины могут быть приобретены в различных странах и в качестве примера можно рассмотреть работу двигателя таких автомобилей. В частности, автомобиль с одним и тем же двигателем может использоваться в климатических условиях со средней температурой ниже -10 градусов или с температурой выше +15 градусов. Технология цифровых двойников позволяет компании, выпускающей автомобили, оценить воздействие погодных условий на качество работы двигателя без необходимости физического присутствия (Кошелева, 2022).

Результаты и обсуждение

Компания "Gartner" ожидает, что к 2020 году более 25 миллиардов различных физических объектов получат своего цифрового двойника. Уменьшение стоимости IoT-датчиков также обеспечит положительное влияние на развитие и более широкое распространение данной технологии.

Нефтегазовая промышленность России была одной из первых, кто проявил интерес к концепции цифровых двойников. Так как данный сектор экономики является ключевым для страны, тут всегда находили применение передовые технологии. Можно привести пример компании "Газпром нефть", которая разработала цифровые близнецы оборудования гидроочистки бензина и первичной переработки нефти, а также реализует проект комплексной системы цифровизации своей деятельности.

Осознание значимости цифровых двойников также распространилось на энергетическую промышленность: в 2017 году компания "Ростом" сообщила о разработке цифровых атомных электростанций, которые будут полностью копировать физические аналоги. Это позволит эффективно собирать и использовать информацию о функционировании производственного оборудования, а также моделировать работу конкретных объектов. Следует отметить применение технологии цифровых двойников в проекте "Цифровая железная дорога" компании РЖД.

Однако отечественная промышленность отстает от развитых стран, так как многие российские предприятия до сих пор используют устаревшие основные средства и не заинтересованы в цифровых технологиях. Для их развития необходимы вложения в технологии, а также изменение отношения руководства к инновациям. Несмотря на то, что переход к полноценной цифровизации кажется труднореализуемым, на данный момент уже представлены технологические решения, которые позволяют максимально облегчить работу в данной области (Цзя, 2022).

Большое количество организаций, стремящихся к полной цифровизации, выбирают открытые облачные операционные системы для IoT, такие как "MindSphere". Эти платформы дают возможность быстро создавать

промышленные решения для IoT, подключать большое количество устройств, объектов и систем, а также дают доступ к современным специализированным приложениям для внедрения технологии цифровых двойников.

Однако, внедрение цифровых двойников предполагает наличие некоторых проблем и является решением долгосрочного характера, которое формирует перспективу промышленности на несколько десятилетий. Ключевым недостатком технологии является большое количество работ по оцифровке производственных объектов и техпроцессов, а также недостаток эффективного кадрового потенциала. В связи с этим, для предприятий отсутствует универсальное правильное решение относительно применения цифровых технологий.

На текущий момент технология цифровых двойников характеризуется недостаточной степенью развития и недостаточным опытом апробации для полноценного юридического оформления и создания профессиональных отраслевых стандартов и прочих документов. При этом большое количество предприятий планирует в будущем использование технологии цифровых двойников для создания конкурентных преимуществ на рынке. Однако это касается только производственной сферы; государственные, военные и прочие организации пока не интересуются цифровыми продуктами. В итоге, результаты деятельности инженерных организаций и подразделений завершаются проектированием и отчетной информацией, а непосредственная разработка цифровых двойников генерирует дополнительную статью расходов.

Одной из главных задач развития цифровых двойников является проработка информационной протекции, так как они играют ключевую роль в менеджменте компаний (Гайфуллина, 2021).

В данном контексте уместно привести пример внедрения цифровых двойников в военной сфере, в частности комплексов разминирования, беспилотников и т.д. Согласно традиционным методам обеспечения защиты техники, ключевыми угрозами являются компьютерные атаки, вирусы, доступ к информации в нарушение должностных полномочий и прочие воздействия на программное обеспечение. Наиболее важными показателями уровня протекции являются конфиденциальность, целостность и доступность данных, а непосредственная защита базируется на экспертно разработанной системе угроз и мероприятий по их устранению.

Следует добавить, что при обновлении технологии управления становится возможным использование "цифровых двойников" в цепочке управления, которая выглядит следующим образом: "пользователь – ПЭВМ – цифровой двойник – ПЭВМ – исполнительная система". Это позволяет операторам сконцентрироваться на стратегически важных элементах менеджмента, поручая менее важные задачи управления исполнительным системам, реализованным на программном уровне. Тем не менее, использование "цифровых двойников" может привести к возникновению новых проблем, связанных с соответствием цифровой модели поставленным задачам.

В частности, уместен пример, касающийся запуска ракетносителя с космодрома "Восточный". Существует версия, что неудача в запуске связана с ошибкой, допущенной в моделировании процесса взлета. На данный момент отсутствуют исследования в области защиты информации в рамках технологии "цифровых двойников". Возможные угрозы от использования цифровых двойников требуют особого отношения. Традиционная методология защиты информации располагает терминами конфиденциальности, целостности и доступности, однако при использовании "цифровых двойников" важно задаваться вопросом об их соответствии существующим исполнительным объектам (Пулин, 2020).

Следует отметить, что классические методы, основанные на обеспечении целостности, не могут применяться по отношению к "цифровым двойникам", так как они характеризуют динамические объекты. Поэтому в таких сферах использования, как военное или атомное производство, разработка "цифровых двойников" должна особенно жестко контролироваться высшим руководством. Однако данная задача становится еще более актуальной, поскольку "цифровые двойники" будут применяться не только с целью моделирования сложных объектов в процессе проектировочных работ, но также с целью улучшения показателей эффективности во многих областях и отраслях промышленности. Принимая во внимание очевидную угрозу информационной безопасности, данная проблема в настоящее время фигурирует в основном исключительно в контексте постановки задачи.

Согласно доступным сведениям, "цифровые двойники" используются во многих сферах промышленности, в том числе, за пределами сферы высоких технологий. Например, некоторые авиакомпании (Airbus, Boeing, ОДК, ОКБ им. А. Люльки) применяют данные технологии для проектировочных работ, изготовления и использования двигателей и шасси. Проекты Open Simulation Platform и Veristar AIM 3D, реализованные в сфере судостроения, используют "цифровые двойники" для решения задач в области тестирования и испытаний. Такие компании, как Wartsila (Финляндия), Средне-Невский Судостроительный Завод и "Малахит" (Россия) используют возможности технологии "цифровых двойников" отдельных частей и структурных составляющих судов (Фомичева, 2021).

Собственного "цифрового двойника" для моделирования сборочных процессов и ряда других технологий создает ПАО "КАМАЗ", а Трансмашхолдинг разработал цифровые копии, задействованные при производстве и испытании поездов "Сапсан" и "Ласточка". Компании Alstom и SimPlan AG также разработали двойника для повышения качества принятия управленческих решений в области сервисного обслуживания железнодорожного транспорта.

Кроме того, компании ADNOC, Royal Dutch Shell, Лукойл, Газпромнефть и многие другие, заявляют о применении цифровых двойников. Как сообщает ARC Advisory Group, общее количество предприятий в нефтегазовой отрасли, использующих преимущества технологии интернет вещей и цифровых двойников должно вырасти втрое, начиная с 2023 года (Коровин, 2021).

Компания Siemens разработала цифровую модель по реализации обслуживания турбин, а компания General Electric для своей электростанции создала полноценного "цифрового двойника". Решения на ветряных турбинах также внедряются компаниями GE Renewable и Arctic Wind. Уральский турбинный завод разрабатывает технологию "цифрового двойника", которая устанавливает связь между проектом, расчетными данными и оптимизационной системой. В рамках подпрограммы "Цифровой двойник и прорывные технологии" в компании Росатом разрабатывают "цифрового двойника" технологического оборудования и цифровой двойник атомной электростанции. Производители потребительских товаров используют "цифровые двойники" с целью улучшения собственной операционной эффективности. Разработка и использование "цифровых двойников" в условиях производства дает возможность выявить основные наиболее важные выгоды внедрения данной технологии (см. таблицу 1).

Таблица 1. Ключевые экономические выгоды внедрения технологии "цифрового двойника" для промышленных предприятий

Тип экономической выгоды	Характеристика возможного эффекта
Управление бизнес-процессами	Результатом внедрения технологии "цифрового двойника" является принятие ответственных управленческих решений, что в свою очередь приводит к снижению затрат на производство, а также дает возможность улучшения бизнес-модели предприятия.
Управление качеством	Эффект заключается в повышении общего уровня качества продукции, а также в прогнозировании и раннем обнаружении дефектов. Для этого проводится оптимизация запаса прочности и улучшение конструкции с использованием виртуальных испытаний, что способствует повышению эффективности производства.
Проектировочные работы	Выгоды предприятия представляют собой снижение затрат на выявление ошибок в проекте, возможность объединения разработчиков и поставщиков модулей. Ускорение проектировочных работ.
Испытания и тесты	Эффект заключается в экономии расходов за счет возможности виртуального тестирования различных изменений продукта, его внешнего вида при замене деталей и элементов.
Управление инновациями	Ускорение создания прототипа, более качественная оценка инноваций, обоснование маркетинговых перспектив.
Эксплуатация продукта	Выгоды связаны с совершенствованием организации, исправлением и коррекцией, обновлением программных продуктов и т.д. Более качественное сервисное обслуживание, снижение количества рекламаций и работ по гарантийному обслуживанию.
Устранение проблемы расстояния	Возможность получения доступа к удаленным объектам.

Стоимость проектов по созданию "цифровых двойников" является одним из факторов, замедляющих развитие соответствующего рынка. Согласно данным агентства High Tech Software Cluster, общая величина затрат по проектам такого типа составляет как минимум 50 тыс. евро, но с развитием технологий ожидается уменьшение этой стоимости.

В 2018 году общий рынок "цифровых двойников", согласно информации Credence Research, был равен 3,76 млрд долларов США, а к 2027 году ожидается его рост до 57,38 млрд долларов США. Удельный вес промышленности на данном рынке составляет 25% от его объема. Также ожидается увеличение до 50% к 2021 году удельного веса крупных предприятий, использующих "цифровые двойники" (Сопина, 2022).

В России есть предприятия, которые поставляют технологии и готовые продукты для создания "цифровых двойников". Имеются программные продукты для моделирования процессов в атомной и космической сферах. Среди лидеров в создании технологий "цифровых двойников" можно выделить США, Китай, Германию, Индию и ряд других стран (Исследование, 2020).

Заключение

Согласно проведенному исследованию, "цифровой двойник" – относительно новая технология, которая уже обрела достаточную популярность. Для предприятий она может сформировать новые потребительские ценности, сэкономить расходы и дать потенциал технологического развития. Дальнейший технологический прогресс позволит увеличить эффективность и снизить затраты на разработку цифровых двойников.

Эта технология дает возможность создавать независимые производственные объекты, оказывает существенное влияние на процесс создания новых продуктов, повышая качество прогнозирования, испытаний, тестирования. Полученные результаты могут использоваться персоналом предприятий, разрабатывающим долгосрочные планы развития, а также органами государственной власти для повышения качества реализации программ по развитию цифровых технологий.

Список литературы

59. Болбаков Р.Г., Павлова Е.С., Семенихин А.О. Технология цифровых двойников и её применение в современном мире // Современные достижения научно-технического прогресса. 2022. №1(1). С. 4-17.

60. Гайфуллина М.М., Хафизова Д.Ф. Методический подход к оценке эффективности применения цифрового двойника установки на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности // Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2021. С. 141-149.
61. Желтикова А.В. Опыт и перспективы применения цифровых двойников в автомобильной промышленности // Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс". 2022. С. 139-148.
62. Саватеев В.И., Саватеев С.И., Шлаев В.И., Васильев Д.М. Исследование применения цифровых двойников изделий в условиях цифровой трансформации промышленности // Интернаука. 2020. № 15-1(144). С. 29-38.
63. Коровин Г.Б. Возможности применения цифровых двойников в промышленности // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27. № 8. С. 124-133.
64. Кошелева О.Э., Павлова А.О. Роль интеллектуальных ресурсов России в расширении сферы применения цифровых двойников и ускорении цифрового прогресса // Бюллетень инновационных технологий. 2022. Т. 6. № 4(24). С. 29-38.
65. Пулин И.С. Возможности применения цифровых двойников в промышленности России // Москва: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ". 2020. С. 233-242.
66. Рудской А.И. Цифровая промышленность на основе цифровых двойников // Приборы. 2021. № 3(249). С. 9-16.
67. Савина Н.В., Покровский Д.С. Применение технологии цифровых двойников на цифровых подстанциях // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2023. № 101. С. 83-95.
68. Сопина Н.В. Возможности применения цифровых двойников в промышленности // Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. 2022. С. 238-246.
69. Фомичева Т.Л. Применение технологии цифровых двойников в автомобильной промышленности: российский опыт // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Т. 11. № 12-1. С. 181-186.
70. Цзя Ц., Родионов Д.Г. Применение цифровых двойников для развития промышленности // Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. 2022. С. 159-166.

Application of digital twins in modern industry

Valerii N. Kernickii

graduate student

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

Krasnoyarsk, Russia

edu@kernitskiy.ru

ORCID 0000-0002-1507-9562

Received 27.08.2023

Accepted 01.09.2023

Abstract

At the beginning of the 21st century, the term "digital twin" was proposed as part of the "Industry 4.0" concept, which is a set of knowledge, competencies and information about technical objects of high complexity. This complex allows planning, forecasting and modeling of objects based on information about their current state, which comes in real time. At the moment, more and more organizations are paying attention to the concept of the "Digital Twin", and if initially digital twins were virtual models of technical elements, now the release of complex twins of various organizational management processes, in particular, resource management systems, is starting. A study of the use of digital twins in various industries has identified key areas for their use, as well as the main expected benefits. These studies are of interest to scientists, specialists from enterprises and public authorities, in order to develop long-term plans for the development of industry in the framework of the introduction of digital technologies. The data obtained as a result of the research can become the foundation for the subsequent development of the concept of a digital twin in various industries in Russia. The choice and justification of a system may depend on many factors, such as the complexity of integration into the existing production system, cost intensity, potential for subsequent development, features of service, and compliance with long-term plans of the enterprise.

Keywords

economic development, Industry 4.0, industrial development, VI technological order, digital twins.

References

1. Bolbakov R.G., Pavlova E.S., Semenihiin A.O. Tekhnologiya cifrovyyh dvoynikov i eyo primeneniye v sovremennom mire // Sovremennyye dostizheniya nauchno-tekhnicheskogo progressa. 2022. №1(1). S. 4-17.

2. Gajfullina M.M., Hafizova D.F. Metodicheskij podhod k ocenke effektivnosti primeneniya cifrovogo dvojnika ustanovki na predpriyatiyah neftepererabatyvayushchej promyshlennosti // Ufa: Ufimskij gosudarstvennyj neftyanoj tekhnicheskij universitet. 2021. S. 141-149.
3. Zheltikova A.V. Opyt i perspektivy primeneniya cifrovyyh dvoynikov v avtomobil'noj promyshlennosti // Moskva: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "Rusajns". 2022. S. 139-148.
4. Savateev V.I., Savateev S.I., Shlaev V.I., Vasil'ev D.M. Issledovanie primeneniya cifrovyyh dvoynikov izdelij v usloviyah cifrovoj transformacii promyshlennosti // Internauka. 2020. № 15-1(144). S. 29-38.
5. Korovin G.B. Vozmozhnosti primeneniya cifrovyyh dvoynikov v promyshlennosti // Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. T. 27. № 8. S. 124-133.
6. Kosheleva O.E., Pavlova A.O. Rol' intellektual'nyh resursov Rossii v rasshirenii sfery primeneniya cifrovyyh dvoynikov i uskorenii cifrovogo progressa // Byulleten' innovacionnyh tekhnologij. 2022. T. 6. № 4(24). S. 29-38.
7. Pulin I.S. Vozmozhnosti primeneniya cifrovyyh dvoynikov v promyshlennosti Rossii // Moskva: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu "KONVERT". 2020. S. 233-242.
8. Rudskoj A.I. Cifrovaya promyshlennost' na osnove cifrovyyh dvoynikov // Pribory. 2021. № 3(249). S. 9-16.
9. Savina N.V., Pokrovskij D.S. Primenenie tekhnologii cifrovyyh dvoynikov na cifrovyyh podstanciyah // Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i ekonomicheskie nauki. 2023. № 101. S. 83-95.
10. Sopina N.V. Vozmozhnosti primeneniya cifrovyyh dvoynikov v promyshlennosti // Nizhnij Novgorod: Nacional'nyj issledovatel'skij Nizhegorodskij gosudarstvennyj universitet im. N.I. Lobachevskogo. 2022. S. 238-246.
11. Fomicheva T.L. Primenenie tekhnologii cifrovyyh dvoynikov v avtomobil'noj promyshlennosti: rossijskij opyt // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. 2021. T. 11. № 12-1. S. 181-186.
12. Czya C., Rodionov D.G. Primenenie cifrovyyh dvoynikov dlya razvitiya promyshlennosti // Sankt-Peterburg: POLITEKH-PRESS. 2022. S. 159-166.