

УДК 004.942

DOI 10.17726/phillT.2023.1.5



Барьеры внедрения технологии цифровых двойников в производство

Прытков Николай Игоревич,

*студент, Санкт-Петербургский
Политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия
prytkov.ni@edu.spbstu.ru*

Заморев Антон Сергеевич,

*преподаватель, кандидат философских наук,
доцент, Санкт-Петербургский
Политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия
zamorev_as@spbstu.ru*

Аннотация. Промышленность последних десяти лет отличается высоким уровнем цифровой трансформации, затрагивающей все слои производства и все сферы экономики. Одним из ключевых трендов цифровизации промышленности является цифровой двойник – система, сочетающая в себе физический объект, его цифровую модель и непрерывную связь между ними. Однако интеграция такого комплексного технологического решения сопряжена с рядом барьеров, так или иначе возникающих на пути пользователей технологии. Авторами статьи было проанализировано 100 примеров использования цифрового двойника в промышленности по 7 критериям, среди которых выделены сфера применения технологии, самый проблемный этап ее интеграции, ключевые технологические, организационные, экосистемные и экономические барьеры, а также примененные или находящиеся в процессе применения рекомендации по преодолению этих барьеров. В статье присутствует пласт статистических данных и инфографика, подтверждающие ключевые выводы по основным барьерам в интеграции цифровых двойников, среди которых на первое место выходят отсутствие устройств и оборудования с необходимой мощностью, отсутствие существующих стратегий внедрения технологии, отсутствие стандартов для регулирования отрасли и высокие начальные инвестиции. Каждый блок барьеров сопровождается реальными примерами (кейсами) использования цифрового двойника в отечественной и зарубежной про-

мышленности, среди которых фигурируют такие компании, как КамАЗ, «ОДК-Климов», Tesla, Volvo, Norske Shell и другие.

Ключевые слова: индустрия 4.0; цифровизация; цифровая трансформация; промышленность; цифровой двойник; барьеры.

Barriers to the integration of digital twin technology in manufacturing

Prytkov Nikolai I.,

*Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia*

prytkov.ni@edu.spbstu.ru

Zamorev Anton S.,

*Lecturer, Ph.D., Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia*

zamorev_as@spbstu.ru

Abstract. Industry over the last ten years has been characterized by a high level of digital transformation, affecting all layers of production and all areas of the economy. One of the key trends in the digitalization of industry is the digital twin – a system that combines a physical object, its digital model, and a continuous link between the two. However, the integration of such a complex technological solution is fraught with a number of barriers that arise in one way or another in the way of technology users. The authors of the article analyzed 100 examples of digital twin use in industry according to 7 criteria, among which the scope of technology application, the most problematic stage of its integration, key technological, organizational, ecosystem and economic barriers, as well as recommendations on overcoming these barriers, which have been applied or are in the process of application, were highlighted. The article contains a layer of statistical data and infographics that confirm the key conclusions about the main barriers to the integration of digital twins, among which the lack of devices and equipment with the necessary capacity, the lack of existing strategies for the technology implementation, the lack of standards for industry regulation and high initial investment are the main ones. Each block of barriers is accompanied by real examples (cases) of use of digital twin in the domestic and foreign industry, among which there are such companies as KamAZ, UEC-Klimov, Tesla, Volvo, Norske Shell and others.

Keywords: industry 4.0; digitalization; digital transformation; manufacturing; digital twin; barriers.

Введение

Цифровизация сегодня представляет собой одну из главных движущих сил трансформации всех сфер общественной жизни [1, с. 12], отношения между виртуальным и физическим миром становятся все более плотными и взаимозависимыми [2, с. 165]. Текущий этап цифрового развития промышленных систем в экономике, получивший наименование 4.0, характеризуется появлением киберпроизводств, киберсистем и кибермашин [3, с. 10]. Современная экономика обусловлена множеством различных факторов и явлений, центральное место среди которых занимает материальное производство – высокотехнологичная промышленность, которой постоянно бросаются вызовы в виде высокой производительности труда, экономической эффективности и глобальной конкурентоспособности [4, с. 3]. Ответом на эти вызовы является одно из важнейших направлений развития высокотехнологичной промышленности – цифровизация промышленности, под которой понимается цифровая трансформация бизнес-процессов и бизнес-моделей [5, с. 13]. Ключевую роль в цифровой трансформации промышленности играют цифровые двойники – системы, внутри которых основное место занимает цифровая модель объекта, находящаяся в непрерывной двусторонней связи с оригинальным объектом или его компонентами. Стоит отметить, что цифровой двойник создается и применяется на протяжении всего жизненного цикла объекта, то есть с самого начала разработки и вплоть до утилизации [6, с. 6]. Разработка и применение цифровых двойников позволяет различным предприятиям и организациям создавать конкурентоспособный продукт за минимальное количество времени и управлять его характеристиками на протяжении всего жизненного цикла [7, с. 21]. Сегодня цифровые двойники становятся важной частью экономики предприятий, как на мировом, так и на российском рынке. Цифровые двойники разрабатываются на таких предприятиях, как КамАЗ, «Росатом», «Вертолеты России», УАЗ, «ОДК Климов» и др. [8, с. 521].

Однако развертывание такой сложной и комплексной технологии, как цифровой двойник, очень часто идет рука об руку с рядом факторов, выступающих в качестве барьеров и препятствий внедрения соответствующего технологического решения [9, с. 20]. Очевидно, что род и характер таких проблем прежде всего связаны со спецификой отдельно взятого кейса внедрения технологии в предприятие. Несмотря на это, остается возможным классифицировать природу

барьеров интегрирования цифровых двойников в производство, основываясь на базовых чертах тех или иных затруднений, возникших в ходе применения технологии со стороны организаций.

Цель работы

В данной статье автор предлагает выявить ключевые аспекты проблематики внедрения цифровых двойников в предприятия.

Материалы и методы исследования

Основным методом исследования является анализ 100 примеров использования технологии в различных сферах промышленности. Все примеры были найдены в открытых источниках при помощи таких поисковых сервисов, как Google, Bing и Yandex. Найденные 100 примеров предлагается сравнить по семи основным критериям, перечисленным ниже:

1. Сегмент рынка или отрасль экономики – сфера, в которой был применен цифровой двойник.
2. Самый проблематичный этап внедрения технологии – один из трех этапов, согласно ГОСТу Р 57700.37-2021, на которых может быть внедрен цифровой двойник: разработка, производство и эксплуатация изделия.
3. Технологические недостатки – препятствия, связанные с технологической «слабостью» решения, несовершенством технологии.
4. Организационные недостатки – барьеры, связанные с внутренними вопросами и проблемами организаций или предприятий.
5. Экосистемные недостатки – пробелы в правовом регулировании отрасли, существующих стандартах или устройстве экосистемы предприятия.
6. Экономические недостатки – трудности, связанные с финансовой составляющей процесса интеграции технологии.
7. Рекомендации по преодолению барьеров – меры, которые уже были или будут применены предприятием по преодолению наиболее существенных препятствий.

Результаты исследования и их обсуждение

Из 100 выбранных примеров было выделено 14 сегментов экономики, в которых был задействован цифровой двойник, что

показывает достаточно широкий охват технологического решения. Наибольшую долю среди примеров использования цифрового двойника с существующими барьерами занимают кейсы в автомобильную промышленность (18%), среди которых встречаются как отечественные разработки (проект «е-Нева», КАМА-1, «Кортеж» и др.), так и зарубежные (Tesla, Volvo, Maserati и др.). Следом идут нефтегазовая промышленность (11%) и аэрокосмическая, строительная и энергетическая промышленность (по 10% каждая). Стоит отметить, что наибольшая доля среди аэрокосмических проектов приходится на государственные заказы по модернизации военно-воздушных сил (примерно 64%), как, например, цифровой двойник сверхзвукового бомбардировщика В-1В или цифровой двойник UG-60 Blackhawk. Наименьшую долю занимают спортивная, пищевая и металлургическая промышленность (по 3% и 1% соответственно) (см. рисунок 1).



Рисунок 1. Примеры использования цифрового двойника по отраслям

Наиболее проблематичным этапом внедрения технологии оказалась стадия эксплуатации (50%). Зачастую это связано с высокой сложностью систем, в которые интегрируется технология, как, например, цифровой двойник нефтяной скважины, электростанции или целого города. Так, в 2019 году норвежская нефтегазовая компания Norske Shell (дочерняя компания британско-нидерландской компании Shell) совместно с норвежской государственной компанией Gassco заключила контракт с норвежской IT-компанией Kongsberg Digital, по которому специалисты в цифровой среде из Норвегии должны были создать цифровой двойник газоперерабатывающего узла Нихамна, находящегося на одноименном острове. Цифровой двойник газоперерабатывающего комплекса Нихамна был введен в эксплуатацию уже в 2020 году, однако вплоть до 2022 года руководство компании сталкивалось со сложностями в управлении всей системой как из-за недостаточного количества квалифицированных кадров, способных взаимодействовать с технологией, так и, прежде всего, из-за довольно масштабной цифровой системы комплекса. Следующим затруднительным этапом является стадия разработки (36%), что, прежде всего, связано с нехваткой прогрессивного оборудования, устройств или программного обеспечения. Наименее затруднительный этап – этап производства (14%), где основные сложности возникают с недостаточным количеством виртуальных испытаний, проведенных на этапе разработки.

Ключевым технологическим недостатком цифровых двойников является отсутствие сопутствующих оптимальных устройств и оборудования с необходимой мощностью для полноценной реализации технологии (41%), что очевидно, поскольку цифровые двойники требуют множества взаимосвязанных систем и сетей для сбора большого объема данных и их передачи. Например, специалистам из Центра исследования растениеводства IGS (IGS Crop Research Centre) потребовалось в 2 раза больше времени, чем нужно было, при разработке своей виртуальной платформы с применением цифрового двойника для оптимизации процесса выращивания растений внутри помещений – TCEA (Total Controlled Environment Agriculture). Разработчики отмечали, что большинство их оборудования не справлялось с обработкой и хранением входящего объема данных, поступавших с датчиков потенциальной фермы, а также с генерацией на их основе «рецептов» – оптимальных решений по тому или иному растению. Высокая сложность системы вне-

дрения цифрового двойника является вторым технологическим недостатком (27%), яркими примерами могут выступать «Умные» города (например, «Умный» Сингапур, «Умный» Кронштадт или Ньюкасл), внутри которых задействовано более миллиона датчиков с необходимостью в обработке колоссального объема данных. Так, цифровой двойник города Сингапур находился в стадии реализации в течение целых 10 лет, а бюджет составил 73 млн долл., поскольку «Умный» город должен был не только выполнять функции тестовой платформы для проверки предоставления услуг (например, создание виртуального спортивного центра в цифровом двойнике может помочь при моделировании рассредоточения толпы для разработки процедур эвакуации во время чрезвычайных ситуаций), но и помогать в процессе планирования и принятия решений (так, при помощи анализа большого количества данных, предполагалось, что в Виртуальном Сингапуре можно будет с легкостью проектировать новые объекты инфраструктуры). Отсутствие необходимого программного обеспечения и отсутствие необходимого количества процедур сертификации и валидации технологических мощностей цифрового двойника являются другими барьерами, отмечаемыми в трети случаев (20% и 12% соответственно).

Среди организационных недостатков многие компании и предприятия отмечают отсутствие существующих стратегий внедрения технологии (46%), что превращает процесс интеграции цифровых двойников в производство в «кота в мешке». Так, на рынке существует не так много решений с применением технологии цифровых двойников, ориентированных на шахтерское дело, из-за чего компаниям приходится сталкиваться с довольно крупными издержками во время внедрения технологии. Например, австралийская компания PETRA (Petra Data Science), занимающаяся созданием и разработкой программного обеспечения для изучения рудных тел, за три года разработала цифровых двойников МАХТА, которые должны были оптимизировать производственно-сбытовую цепочку добычи полезных ископаемых. Хотя МАХТА и продемонстрировала положительные результаты с момента своей реализации в 2018 году (например, цифровой двойник шахты Бан Хуайсай, данные о 10 млн тонн руды которой были полностью проанализированы за 2 года), все сопутствующие издержки и допущенные ошибки в планировании стратегии решения не окупились даже к концу 2022 года. Схожий барьер – отсутствие адаптированных бизнес-моделей – является следующим

ключевым препятствием в плане организации предприятия (27%) и сопряжен с повышенным риском понести убытки на предприятии. Также многие руководители организаций являются барьером на пути реализации технологии на их собственном предприятии, нередко ссылаясь на «сомнительность» или «ненадежность» решения, тем самым проявляя свой скептицизм (14%). Такие организационные барьеры, как недостаток моделей расчета затрат (12%) и вопрос правообладания комплексным решением (6%), оказались наименее актуальными в рамках внедрения технологии и встречаются, чаще всего, в частных применениях цифрового двойника на производстве (например, цифровые двойники в продуктах компаний Tesla по факту были разработаны сторонней индийской компанией, однако конечный правообладатель до сих пор не определен).

В качестве основных экосистемных недостатков наиболее актуальными для рассмотренных кейсов применения технологии оказались отсутствие достаточного количества стандартов для регулирования отрасли (28%) и отсутствие интегрированной цифровой технологической цепочки (27%). Отсутствие полноценного и доработанного правового регулирования и стандартов сильно сказывается на реализации цифровых двойников в сфере торговли (цифровые двойники супермаркетов Intermarché, цифровые двойники Amazon, Ebay и Walmart) и сфере здравоохранения (проект Neurotwin, цифровой двойник человека от General Electric, модель сердца от Philips). В настоящее время пользователи руководствуются системой стандартов по управлению данными, безопасности и сетевому взаимодействию, которые разработаны такими организациями, как Национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) и Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO), и которых явно не хватает для многих наукоемких областей. Так, например, до сих пор не существует универсального международного стандарта, который регулировал бы даже само понятие «цифровой двойник», из-за чего многие компании сталкиваются со сложностями при регистрации патентов (например, компания Nokia в рамках программы Неха-Х по оснащению Европейского Союза технологиями связи 6G во многих своих патентах по киберфизическим системам (зарегистрировано более 119) избегала термин «цифровой двойник», который явно применялся). Интегрированная цифровая технологическая цепочка способствует оптимальной работе пред-

приятия в ходе полной цифровой трансформации промышленности, поэтому ее отсутствие делает внедрение цифровых двойников не таким эффективным. Технологической цепочке часто сопутствует другой барьер – отсутствие стандартизированной передачи данных (21%), который часто возникает в случаях, когда предприятие использует технологические решения от разных разработчиков. Отсутствие прогрессивных средств и способов обучения персонала (14%) и отсутствие контроля за рынком программного обеспечения (10%) являются наименее весомыми барьерами в данной выборке кейсов и сопряжены с нехваткой квалифицированных кадров на рынке (и, соответственно, с потребностью предприятия в проведении курсов подготовки) и большим количеством разнообразного программного обеспечения разного уровня качества на рынке.

По критерию экономических барьеров наиболее проблематичным пользователи находят необходимость в высоких начальных инвестициях (39%). Разработка и эксплуатация цифрового двойника являются трудоемкими процессами, которые требуют огромных вычислительных мощностей, из-за чего сам процесс внедрения технологии становится дорогостоящим. Более того, процесс идет рука об руку с дополнительными расходами в виде настройки датчиков для сбора данных, аппаратного и программного обеспечения для обработки данных и постройки высокопроизводительной сетевой инфраструктуры. Это, например, являлось довольно весомым барьером для Командования морских перевозок Военно-морского флота США (United States Navy's Military Sealift Command, MSC), которые длительное время откладывали внедрение технологии цифровых двойников в реализацию проектов по оптимизации и повышению эффективности своих двух военных сухогрузов William McLaren (T-AKE12) и Medgar Evers (T-AKE13). В конечном итоге ВМФ США заключили контракт с американской компанией General Electric на сумму в 9 млн долл., а проект завершился в 2022 году. Следующими важными для преодоления экономическими барьерами являются высокая стоимость технического обслуживания (20%) и высокая стоимость подготовки квалифицированных кадров (18%). Высокая стоимость эксплуатации (12%) и долгий срок окупаемости (11%) были отмечены меньшинством пользователей.

По последнему критерию – рекомендации по преодолению барьеров – наиболее часто применяемыми или в процессе применения оказались продвижение инновационной культуры (28%), то есть

разработка политики по продвижению инновационной культуры обмена идеями и изучения новых технологий между компаниями в смежных сферах, и участие в трехстороннем партнерстве (28%) – активное взаимодействие правительства, промышленности и академических кругов в области разработки и обмена технологиями. Ярким примером такого взаимодействия можно отметить сотрудничество Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого с дочерними компаниями Государственной корпорации «Ростех» в таких кейсах, как цифровое проектирование и моделирование цифрового двойника морского газотурбинного двигателя (заказ от ПАО «ОДК-Сатурн»), создание цифрового двойника двигателя ТВ7-117СТ-01 (заказ от АО «ОДК-Климов»), разработка цифрового двойника электромобиля «КАМА-1» (заказ от ПАО «Камаз»). Следом идут получение финансовой поддержки со стороны государства (19%) (например, в виде грантов) и разработка флагманских проектов для успешной реализации эталонной архитектуры (15%). Наименьшую актуальность среди рассмотренных кейсов внедрения цифровых двойников получили рекомендации в виде создания практики консультантов (7%) и участия в правительственных инициативах (3%) (см. рисунок 2).

Заключение

Таким образом, можно сказать, что технология цифровых двойников имеет широкий охват по областям применения, наибольшая доля приходится на автомобильную промышленность (18%). Самым проблематичным этапом внедрения цифрового двойника является стадия эксплуатации (50%). Среди ключевых барьеров были выявлены: технологический – отсутствие устройств и оборудования с необходимой мощностью (41%); организационный – отсутствие существующих стратегий внедрения технологии (46%); экосистемный – отсутствие стандартов для регулирования отрасли (28%); экономический – высокие начальные инвестиции (39%). Основными предпринятыми или находящимися на стадии принятия рекомендациями стали продвижение инновационной культуры (28%) и участие в трехстороннем партнерстве (28%). Отсюда можно сделать выводы, что цифровой двойник хотя и является перспективной и многообещающей технологией, но обладает рядом проблем во время внедрения, среди которых основные происходят на стадии непосредственной



Рисунок 2. Рекомендации, принятые или находящиеся в процессе принятия, по преодолению барьеров внедрения цифровых двойников в предприятия

эксплуатации и преимущественно связаны либо с нехваткой вычислительных мощностей, либо с нехваткой стратегий внедрения этой технологии, либо с высокими начальными капиталовложениями.

Литература

1. Быльева Д. С., Лобатюк В. В. Образ цифрового будущего общества через призму пандемии // *Философская мысль*. – 2021. – № 2. DOI: 10.25136/2409-8728.2021.2.35169.
2. Салтанович И. Глобально-локальные культурные взаимодействия в гиперсвязанном мире // *Technology and Language*. – 2022. – № 3(2). – Р. 162-178. <https://doi.org/10.48417/technolang.2022.02.10>.
3. Полянин А. В., Головина Т. А. Концепция управления инновационной деятельностью промышленных систем на основе технологии цифрового двойника // *π-Economy*. – 2021. – № 14(5). – С. 7-23. DOI: 10.18721/ПЕ.14501.

4. Боровков А. И., Марусева В. М., Рябов Ю. А. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии. – М.: Департамент корпоративного обучения Московской школы управления СКОЛКОВО, 2017. – 12 с.
5. Боровков А. И., Марусева В. М., Рябов Ю. А. «Умные» цифровые двойники – основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Трамплин к успеху: цифровая экономика – 2018. – № 13. – С. 12-16.
6. ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2021 г. № 979-ст. – М., 2021. – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=7&id=241313> (дата обращения: 06.12.2022).
7. Боровков А. И., Рябов Ю. А. Определение, разработка и применение цифровых двойников: подход Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» // Цифровая подстанция. – 2019. – № 1-12. – С. 20-25.
8. Царев М. В., Андреев Ю. С. Цифровые двойники в промышленности: история развития, классификация, технологии, сценарии использования // Приборостроение. – 2021. – № 64(7). – С. 517-531.
9. Боровков А. И., Рябов Ю. А., Щербина Л. А., Гамзикова А. А. Цифровые двойники: вопросы терминологии. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 28 с.