

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА КРИВОЙ ГАРТНЕР ЗА ПЕРИОД 2016-2024 ГГ.

Кравченко Анастасия Анатольевна
*аспирант,
МГУ имени М.В. Ломоносова, экономический факультет
(г. Москва, Россия)*

Аннотация

Цифровые двойники являются одной из ключевых технологий в эпоху цифровой трансформации. Аналитическое агентство «Гартнер» предлагает важный инструмент для анализа уровня зрелости технологии и прогноза ее дальнейшего развития, что в свою очередь позволяет выявить тренды, способствующие дальнейшей эволюции технологии.

Целью статьи является анализ места технологии на кривой Гартнер и выявление особенностей ее эволюции в контексте цифровой трансформации за период 2016–2024 гг. В исследовании был использован метод сопоставительного анализа кривых Гартнер, который показал, что цифровые двойники находятся на этапе завышенных ожиданий в ряде областей, но в промышленности постепенно переходят к этапу выхода на плато продуктивности.

На основе анализа кривых Гартнер и прогнозов роста рынка двойников были сделаны выводы о том, что данная технология будет все более востребована в промышленности с целью улучшения бизнес-процессов, управления организацией, повышения эффективности.

Ключевые слова: цифровой двойник, цифровизация, Индустрия 4.0, моделирование процессов, цифровое моделирование, цифровая трансформация.

JEL коды: M15, O31, O32, O33.

Для цитирования: Кравченко А. А. Эволюция технологии цифровых двойников на кривой Гартнер за период 2016–2024 гг. // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2025. Том 17. Выпуск 2. С. 88-110. DOI: 10.38050/2078-3809-2025-17-2-88-110.

Введение

На современном этапе цифровой трансформации необходимость внедрения передовых технологий Индустрии 4.0 становится не только драйвером конкурентоспособности, позволяющим обеспечить качественно и количественно иные эффекты. Цифровые двойники (ЦД) на сегодняшний день являются неотъемлемым фактором цифрового предприятия, без которого

оно не может обеспечивать полноценную функциональность и производительность. Следует отметить, что несмотря на то, что технология довольно молодая и терминологический аппарат пока еще до конца не устоялся, цифровые двойники прочно вошли в повседневные производственные процессы крупных компаний и позволяют значительно экономить время вывода продукта на рынок, человеческие и производственные ресурсы, сокращать затраты и оптимизировать процессы тестирования продуктов (краш-тесты) и обучения сотрудников.

По определению профессора Мичиганского университета Майкла Гривза, ставшее основной для многих других дефиниций, в том числе и для последующей фиксации определения в нормативных документах, «Цифровой двойник – представляет собой набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или реальный физический производимый продукт от микроатомного уровня до макрогеометрического» (Grieves, 2016, p. 3). Если обратиться к нормативному стандарту, введенному в Российской Федерации в 2021 г., то по ГОСТ Р 57700.37–2021 цифровой двойник определен следующим образом: «система, состоящая из цифровой модели и двусторонних информационных связей с изделием (при его наличии) и (или) с его составными частями» (Компьютерные модели и моделирование..., 2021). Для сравнения приведем трактовку Международного агентства по стандартизации (ISO), утвердившее свое определение для технологии ЦД в 2021 г. По международному стандарту ISO 23247-1-2021 «цифровой двойник – это цифровое представление наблюдаемого производственного элемента с взаимной синхронизацией между ними» (ISO 23247-1:2021..., 2021).

Стоит отметить, что технология цифровых двойников сама по себе является «технологией-интегратором», как ее характеризует проректор по цифровой трансформации СПбПУ и руководитель Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» СПбПУ А.И. Боровков. Согласно ученым СПбПУ во главе с А.И. Боровковым, технология ЦД объединяет в себе несколько других цифровых технологий: «компоненты робототехники и сенсорики, технологии виртуальной и дополненной реальности, искусственный интеллект, системы распределенного реестра, технологии беспроводной связи и другие новые производственные технологии» (Алексей Боровков выступил..., 2020).

Несмотря на некоторое разночтение в понятийном аппарате, место технологии цифровых двойников и ее важность подчеркиваются не только научным сообществом, но и данными рынка и аналитических агентств. Поскольку ЦД неоднократно отмечались аналитиками «Gartner» на кривых (hype cycle) с момента их первого появления в 2016 г., двойники продолжают находиться на пике популярности среди новых технологий уже несколько лет. Эксперты «Gartner» прогнозируют, что в ближайшие годы технология станет одной из самых важных, можно сказать фундаментальных в процессе цифровой трансформации предприятий.

Динамика рынка также подтверждает важность технологии ЦД, аналитики из компании «Yahoo Finance» прогнозируют, что к 2026 г. до 91% всех платформ интернета вещей (IoT) будут иметь возможности для цифрового дублирования, что в свою очередь означает еще большее пространство для внедрения и использования цифровых двойников в повседневной жизни (Global digital twins market..., 2021). Говоря о трехлетней перспективе технологии ЦД, аналитики «Yahoo Finance» утверждают, что к 2028 г. двойники будут являться одной из базовых и стандартных функций платформенных приложений технологии интернета вещей. Они отмечают, что наиболее часто используемыми функциями цифровых двойников будут: «дублирование активов, дублирование компонентов, дублирование систем, дублирование рабочих

процессов» (Global digital twins market..., 2021). Эти функции почти в полной мере соответствуют уровням анализа ЦД, которые были выделены научным центром НТИ СПбПУ, в частности ученые предлагают опираться на следующие уровни: «цифровой двойник компонента, цифровой двойник продукта/изделия, цифровой двойник технологического процесса, цифровой двойник предприятия (цех, производство)...» (Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности..., 2019).

Также стоит отметить данные российских исследователей по уровню проникновения ЦД в российские организации, который в 2022 г. составил 1,3% по данным Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ (Индикаторы цифровой экономики..., 2024). Технология цифровых двойников также была включена вышеупомянутым институтом НИУ ВШЭ в топ-10 цифровых технологий в РФ в 2024 г., где ЦД был отмечен в кластере «Индустрия 4.0» (Топ-10 цифровых технологий в России..., 2024).

Международная консалтинговая компания «McKinsey», исходя из анализа опыта компаний, которые уже внедрили технологию цифровых двойников, приводит следующие данные эффектов от внедрения технологии ЦД в производственные циклы: увеличение выручки до 10%, ускорение вывода продукции на рынок на 50% и повышение качества продукции на 25% (Digital twins: The art of the possible..., 2022).

Данная динамика подтверждает, что технология ЦД прочно закрепилась на рынке среди других инновационных технологий, имеет большой потенциал для роста и увеличения внедрения в повседневные процессы компаний.

1. Место цифровых двойников на кривой Гартнер

Компания «Gartner» является одним из лидеров по оценке перспективности цифровых технологий на рынке. Вот уже на протяжении почти 30 лет аналитическая компания «Gartner» публикует отчеты, где представляет кривые хайпа, так называемые Gartner Hype cycle в англоязычном варианте. В 1995 г. компания «Gartner Inc.» впервые представила миру кривую хайпа, которая была призвана показать траекторию движения любой инновационной технологии с учетом ожиданий или ценности данной конкретной технологии (ось Y) в зависимости от времени (ось X) (Dedehayir et al., 2016).

Компания «Gartner» ставит своей целью дать руководителям понимание того, как технология или приложение будут развиваться с течением времени, обеспечивая надежный источник информации для управления их внедрением в контексте конкретных бизнес-целей какой-либо компании (Gartner hype cycle..., 2024). Кривые хайпа дают представление об относительном проникновении на рынок, зрелости и преимуществах инноваций в определенном сегменте, например, в области технологий или на бизнес-рынках. При этом они отслеживают инновации на протяжении их классического жизненного цикла (CIO's Guide..., 2024). Для понимания методологии приведем все пять этапов на кривой хайпа и определение каждого согласно компании «Gartner».

- Этап 1 (Innovation Trigger / Запуск инновации): «цикл ажиотажа начинается, когда технологический прорыв, публичная демонстрация, запуск продукта или другое событие вызывают интерес прессы и отрасли к технологической инновации» (CIO's Guide..., 2024).

- Этап 2 (Peak of Inflated Expectations / Пик завышенных ожиданий): «волна “шума” нарастает, и ожидания от этой инновации становятся выше ее реальных возможностей. В некоторых случаях образуется инвестиционный пузырь, как это произошло с Интернетом и социальными сетями. Некоторые компании предпринимают какие-то действия, многие – нет, и все же технология часто чрезмерно рекламируется, что приводит к пику завышенных ожиданий» (CIO’s Guide..., 2024).

- Этап 3 (Trough of Disillusionment / Глубокое разочарование): «интерес ослабевает по мере того, как эксперименты и внедрения инновационной технологии не приносят результатов. Проблемы с производительностью, более медленное, чем ожидалось, внедрение или неспособность обеспечить финансовую отдачу в запланированные сроки – все это приводит к тому, что ожидания не оправдываются, и наступает разочарование» (CIO’s Guide..., 2024).

- Этап 4 (Slope of Enlightenment / Масштабирование, рост за счет научения): «начинают выявляться и становиться более понятными новые примеры того, как технология может принести пользу предприятию. Появляются продукты второго и третьего поколения, и все больше предприятий финансируют пилотные проекты» (CIO’s Guide..., 2024).

- Этап 5 (Plateau of Productivity / Плато продуктивности): «массовое внедрение начинает набирать обороты. Критерии оценки жизнеспособности провайдеров становятся более четкими по мере того, как технология выходит на уровень производительности» (CIO’s Guide..., 2024).

Таким образом, «Gartner» дает инструмент, позволяющий оценить технологические тренды и перспективы той или иной технологии, с помощью которого в данном исследовании возможно изучить эволюцию и проанализировать место технологии цифровых двойников на кривой хайпа Gartner за период 2016–2024 гг.

Важно упомянуть, что разработки и исследования в области двойников берут свое начало еще с 1970-х гг. в США, в частности, нельзя не упомянуть, проект «Аполлон», который разрабатывало Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) (The digital twin paradigm..., 2012). Все за этим многие американские высокотехнологичные компании начинают свои собственные разработки в области цифровых двойников, что на текущий момент объясняет то, что на мировом рынке производителей таких решений в количественном выражении больше всего именно из США. Это в свою очередь говорит о несколько запоздалом первом появлении технологии цифрового двойника на кривой Gartner в 2016 г. (см. рис. 1). В 2016 г. ЦД был отмечен как «потенциально значимая технология» на кривой хайпа для технологий интернета вещей (IoT) и ему был присвоен статус «Запуск инновации». Технология была расположена в самом начале кривой (Technologies Underpin the Hype Cycle..., 2016; Gartner Identifies the Top 10..., 2016). Прогнозируемый период выхода технологии на плато продуктивности 5–10 лет, т. е. предположительно в 2021–2024 гг.

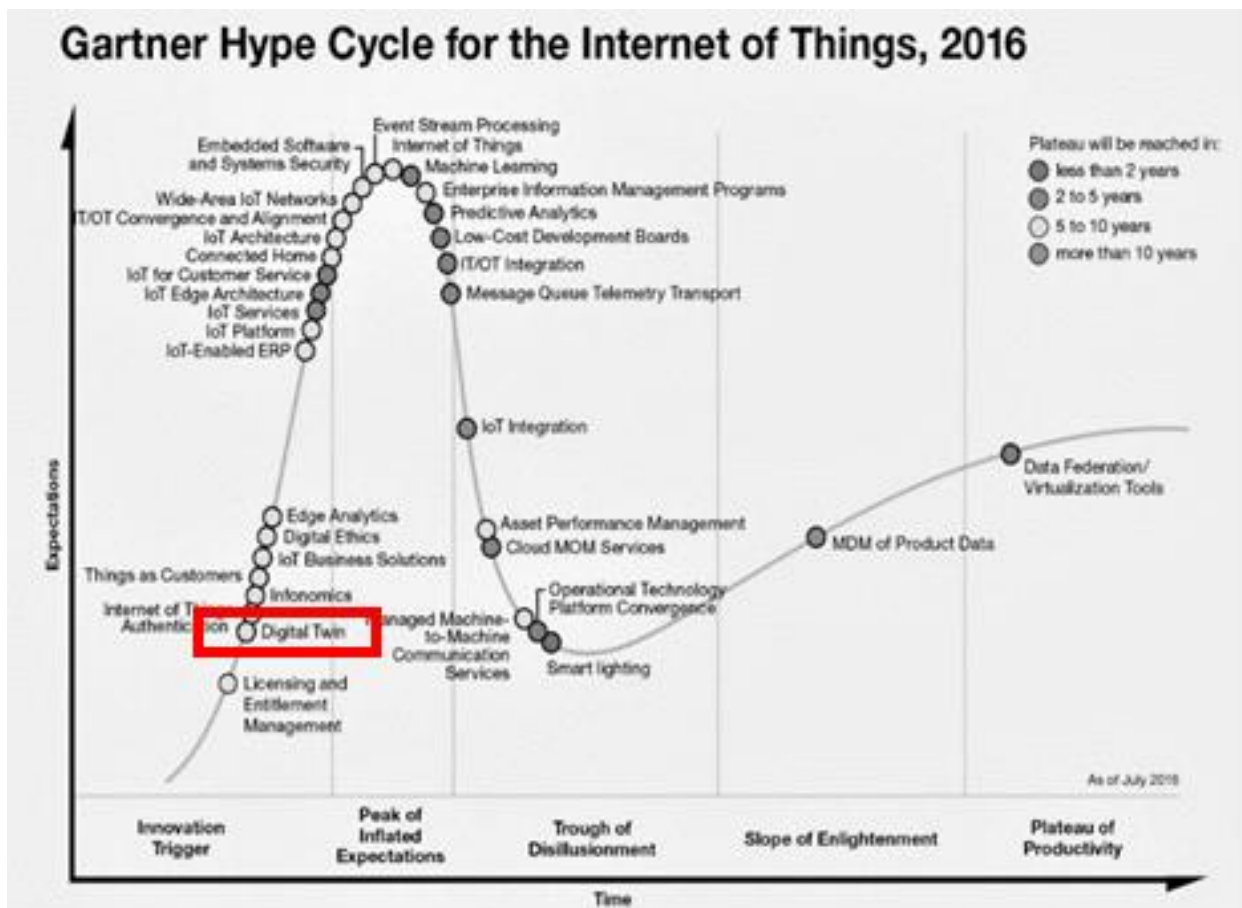


Рисунок 1. Кривая хайпа для интернета вещей (Gartner Inc, 2016)

По мнению отечественных и зарубежных ученых, цифровой двойник занимает одну из лидирующих позиций в цифровой трансформации в эпоху Индустрии 4.0, а также глобальные компании-разработчики в различных промышленных областях от машиностроения, космоса и энергетики до здравоохранения и образования подтверждают это мнение тем, что проводят собственные научные исследования и выводят на рынок все более усовершенствованных цифровых двойников.

В 2017 г. цифровой двойник появляется на кривой Гартнера для новых технологий уже как полностью самостоятельная технология и как часть технологии IoT. Место технологии, однако, уже не в самом начале кривой, а выше, выход на плато продуктивности по-прежнему составляет 5–10 лет, но технология ЦД пока еще находится на этапе запуска технологии.

В данном контексте можно говорить о том, что технология ЦД с момента проекта NASA «Аполлон-13» была умышленно задвинута на задворки с целью отвлечения внимания как научных кругов, так и технологических компаний от тех преимуществ, которые она способна дать. На передний план выдвинулись такие технологии, как интернет вещей, промышленные роботы, цифровые платформы и другие, в то время как цифровой двойник широко не обсуждался в индустрии. Это, несомненно, обеспечивало конкурентное преимущество и позволяло выиграть время тем компаниям, которые первые увидели в ней перспективы и начали проводить самостоятельные исследования и инжиниринг данной технологии. По мнению А.И. Боровкова, «это лишь служит дополнительным аргументом в пользу того, что “будущее уже пришло”» (Технологии проектирования..., 2017).

В последующие годы технология цифровых двойников продолжает занимать важное место в исследованиях «Gartner» в двух направлениях – как технология, важная для IoT, и как

самостоятельная технология для внедрения в промышленности. По состоянию на 2018 г. на рис. 3 цифровому двойнику был присвоен статус технологии, которая находится на этапе «завышенных ожиданий» (Hype Cycle..., 2018). Кроме того, «Gartner» отмечает технологию ЦД как часть тренда цифровых экосистем: в частности, аналитики «Gartner» утверждают, что ЦД – одна из технологий наряду с блокчейном, IoT платформами и графами знаний, которая будет служить опорой для выстраивания цифровых экосистем.

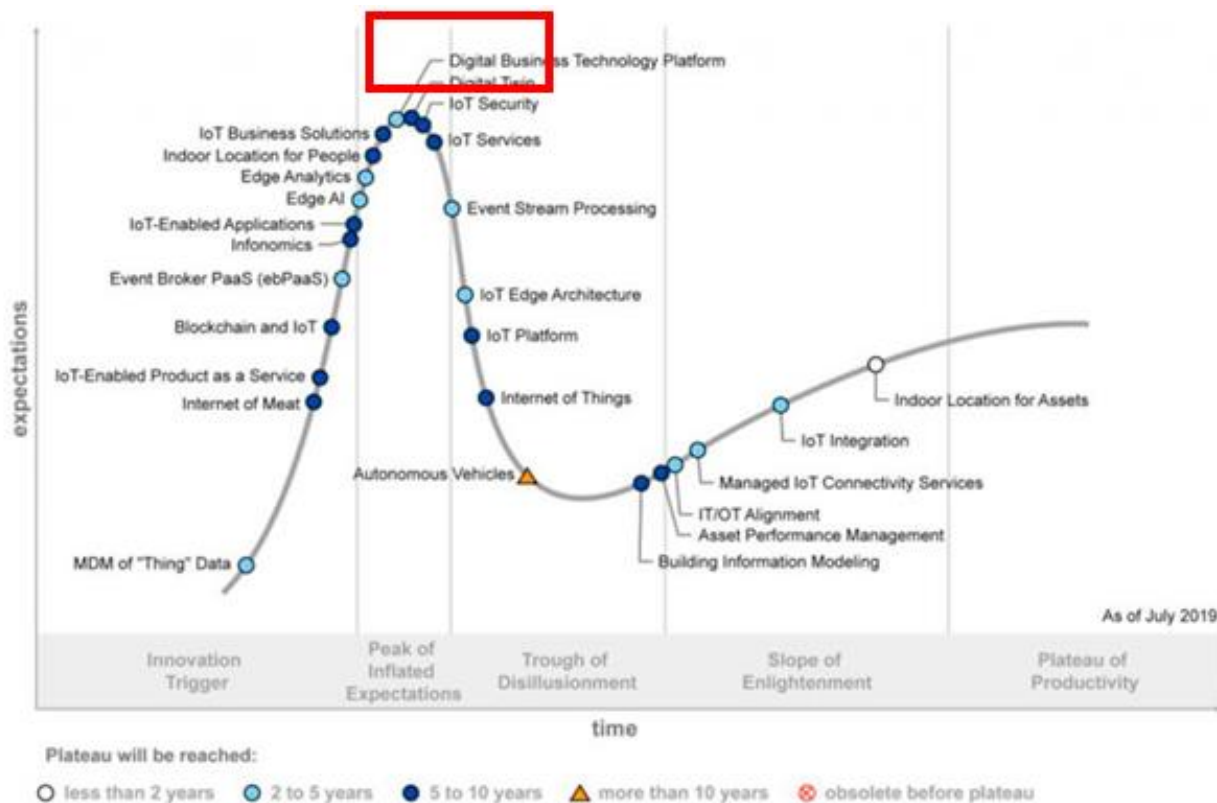


Рисунок 2. Кривая хайпа для интернета вещей (Gartner Inc., 2019)

В 2019 г. цифровой двойник появляется на кривой хайпа для интернета вещей. Технология ЦД уходит с кривой ажиотажа для новых технологий, что вполне логично, так как технология уже не является новой, а переходит в разряд применяемых в технологических процессах. На рисунке 2 видно, что ЦД занимает место на пике кривой, технология находится в самом центре этапа завышенных ожиданий (Hype Cycle..., 2019).

В исследовании «Gartner», которое описывало технологии, ставшие стратегическими трендами в 2020 г., технология ЦД были указана как часть двух трендов «Гиперавтоматизация» и «Усиление периферийных вычислений» (Gartner Top 10 Strategic..., 2019). Под трендом «Гиперавтоматизация» понимается: «комплексное применение машинного обучения, готовых программных решений и средств автоматизации для выполнения какой-либо работы» (Gartner Top 10 Strategic..., 2019). Под трендом «Гиперавтоматизация» следует понимать как обширный набор технологических решений, так и кратное усложнение самой автоматизации процессов, что говорит об эволюции в автоматизации, переходе ее на качественно новую ступень развития. По словам экспертов «Gartner», цифровой двойник – это одно из центральных звеньев процесса гиперавтоматизации благодаря его функции двустороннего обмена данными между физическим объектом и его виртуальной копией. Данная функция дает преимущество и позволяет обнаружить новые возможности для бизнеса, что в свою очередь способствует дальнейшей эволюции технологии.

Компания «Gartner» описывает тренд «Усиление периферийных вычислений» следующим образом: «Периферийные вычисления – это топология, в которой обработка информации, сбор и доставка контента осуществляются ближе к источникам информации, при этом предполагается, что локализация и распределение трафика уменьшат задержку» (Gartner Top 10 Strategic..., 2019). «Gartner» подчеркивает, что периферийные вычисления займут лидирующие позиции в большинстве отраслей промышленности, а это значит, что роль цифровых двойников также будет усиливаться благодаря тому, что они обеспечивают двустороннюю передачу и обработку информации и данных.

Следует упомянуть тот факт, что в 2019 г. технология ЦД появляется не только кривой хайпа для IoT, но также на кривой «значимых технологий для цифрового правительства», где фигурирует уже как «цифровой двойник правительства» и находится на этапе запуска (Gartner 2019 Hype Cycle..., 2019). Также в 2019 г. цифровой двойник занимает место на вершине кривой хайпа Grid-технологий в энергетическом секторе, что подчеркивает его особую роль в данной сфере промышленности (Hype Cycle for Digital..., 2019). Таким образом, технология набирает все большую популярность как среди бизнес-сообщества, так и среди государственного сектора.

В 2019 г. «Gartner» провел исследование среди 599 компаний из Китая, Германии, Индии, Японии, США и Великобритании. Согласно данным исследования, 13% организаций, внедряющих в свою деятельность IoT-проекты, внедрили и цифровых двойников (Gartner Survey Reveals..., 2019). При этом 62% компаний находятся на этапе разработки технологии ЦД, либо планируют начать разработки в этом направлении (Gartner Survey Reveals..., 2019). Все это свидетельствует о долгосрочности трендов и прочном положении на рынке цифрового двойника.

По мнению аналитиков «Gartner», росту внедрения и использования цифровых двойников также способствуют «сквозные технологии», входящие в его состав (Gartner Survey Reveals..., 2019). Цифровой двойник является очень наукоемкой технологией во многом потому, что агрегирует в себе технологию больших данных, IoT, дополненную и расширенную реальность (AR, XR), цифровые платформы, машинное обучение и другие. В связи с развитием этих технологий ЦД также развивается и эволюционирует.

На кривой Gartner 2020 года отчетливо видна эволюция цифрового двойника – появляется цифровой двойник человека и цифровой двойник гражданина (5 Trends Drive..., 2020). Цифровой двойник человека – это более широкое понятие, следует отметить, что с 2020 г. наступает сдвиг эволюционной зрелости технологии. Цифровые двойники прочно входят в производственные и технологические циклы компаний, можно говорить о том, что технология цифровых двойников начинает выходить на этап плато продуктивности, так как, с одной стороны, сформировался рынок компаний-вендоров данной технологии, а с другой стороны, имеется достаточное количество кейсов успешного внедрения технологии в различных отраслях промышленности.

С 2020 г. на кривых Gartner цифровые двойники фигурируют не сами по себе, а как технология прикладная для кого-либо направления, что, с одной стороны, более узко специализирует применение ЦД, а с другой стороны, расширяет применение технологии благодаря дополнительным платформам и приложениям, которые встраиваются в интерфейс двойников и позволяют создавать ЦД для абсолютно любых объектов. «Gartner» дает следующее определение цифрового двойника гражданина: это цифровой двойник, который отражает состояние

человека, а не оборудования (Dingli, 2021). Важно отметить, что органы власти (как на локальном, так и на федеральном уровне) могут использовать таких ЦД для поддержки услуг для граждан, например, таких как управление здравоохранением и безопасностью населения.

Обе технологии – и цифровой двойник человека, и цифровой двойник гражданина – находятся на этапе запуска технологии, горизонт выхода на плато продуктивности составляет 5–10 лет.

В 2021 г. мы видим, что с кривой исчезают цифровые двойники человека и гражданина, но появляется Digital human (цифровой человек) (3 Themes Surface..., 2021), которому «Gartner» дает следующее определение: «Цифровые люди – это изображения людей, как правило, в виде цифровых двойников, цифровых аватаров, человекоподобных роботов, искусственного интеллекта или пользовательских интерфейсов для общения. Цифровые люди предназначены для того, чтобы вывести человекоподобные взаимодействия на передний план в новых бизнес- и операционных моделях» (Quick Answer..., 2023). Это также свидетельствует об усложнении цифрового двойника и выходе его на новый технологический уровень.

Аналитики «Gartner» указывают на множество вариантов использования этих гуманоидных технологий, которые позволят бизнесу выйти на качественно новый уровень и сохранить ресурсы в обучении персонала, коммуникациях, медицинской помощи и обслуживании клиентов. Цифровые люди уже появлялись в художественных фильмах, выступали на конференциях и оказывали влияние на бренды.

Однако есть и различные социальные барьеры, и этические проблемы в дополнение к неразвитости технологии, которые создают проблемы для широкого внедрения цифровых людей на производствах и в повседневной жизни, но потенциал влияния на бизнес и дифференциации подталкивает некоторые организации к внедрению этой технологии.

Технология пока находится на этапе запуска, но очень близка к этапу завышенных ожиданий, на котором располагаются следующие за ней многопользовательские технологии и отраслевые облака. Отдельно стоит отметить, что горизонт выхода на плато у данной технологии значится более 10 лет, в то время как у ЦД, о которых шла речь ранее, он составлял от 5 до 10 лет.

Кривая 2022 г. также включает цифрового человека, и технология находится ровно на том же месте на кривой, что и в 2021 г. Кроме того, на кривой впервые появляется цифровой двойник покупателя (Digital twin of a customer) (What's New in the 2022..., 2022), который позволяет моделировать реакцию клиентов в режиме реального времени, что в свою очередь позволит логистическим компаниям, цепочкам поставок, сектору e-commerce лучше понимать меняющиеся требования клиентов, прогнозировать сценарии реагирования и ускорять внедрение новых продуктов и услуг (A Digital Twin..., 2023).

Компания «Gartner» также отмечала данную технологию среди трех главных трендов в 2022 г. В частности, данная технология является одной из главных для тренда на развитие/расширение иммерсивных возможностей. «Gartner» утверждает, что одно из ключевых преимуществ ЦД покупателя в том, что у пользователя появится «большой контроль над своей личностью и данными» (What's New in the 2022..., 2022). Данная возможность будет способствовать росту e-commerce сегмента и компаний, бизнес которых связан с цифровыми торговыми площадками, что в дальнейшем приведет к большей степени интеграции и появлению новых экосистем.

Прогнозируемый выход на плато продуктивности технологии ЦД покупателей составит от 5 до 10 лет, прежде чем она станет массовой, но она окажет существенное трансформирующее влияние на организации. По состоянию на 2022 г. технология находилась в самом начале кривой на этапе запуска.

На кривой хайпа для новых технологий за 2023 г. цифровые двойники отсутствуют (What’s New in the 2023..., 2023). Однако уже на следующий год на кривой Gartner от августа 2024 г. вновь появляется ЦД покупателя, и горизонт выхода технологии на плато по-прежнему составляет 5–10 лет, как и в 2022 г. (Gartner 2024 Hype Cycle..., 2024). Технология находилась на этапе запуска и расположена в самом начале кривой, аналогично 2022 г.

Исходя из проведенного анализа, обобщим полученные результаты и представим движение технологии цифровых двойников на одной кривой, чтобы можно было наглядно проследить весь его путь. На рисунке 3 представлена обобщенная кривая хайпа Gartner за период 2016–2024 гг., которая позволяет визуализировать путь технологии ЦД, ее эволюцию и этапы, на которых она находилась за это время.

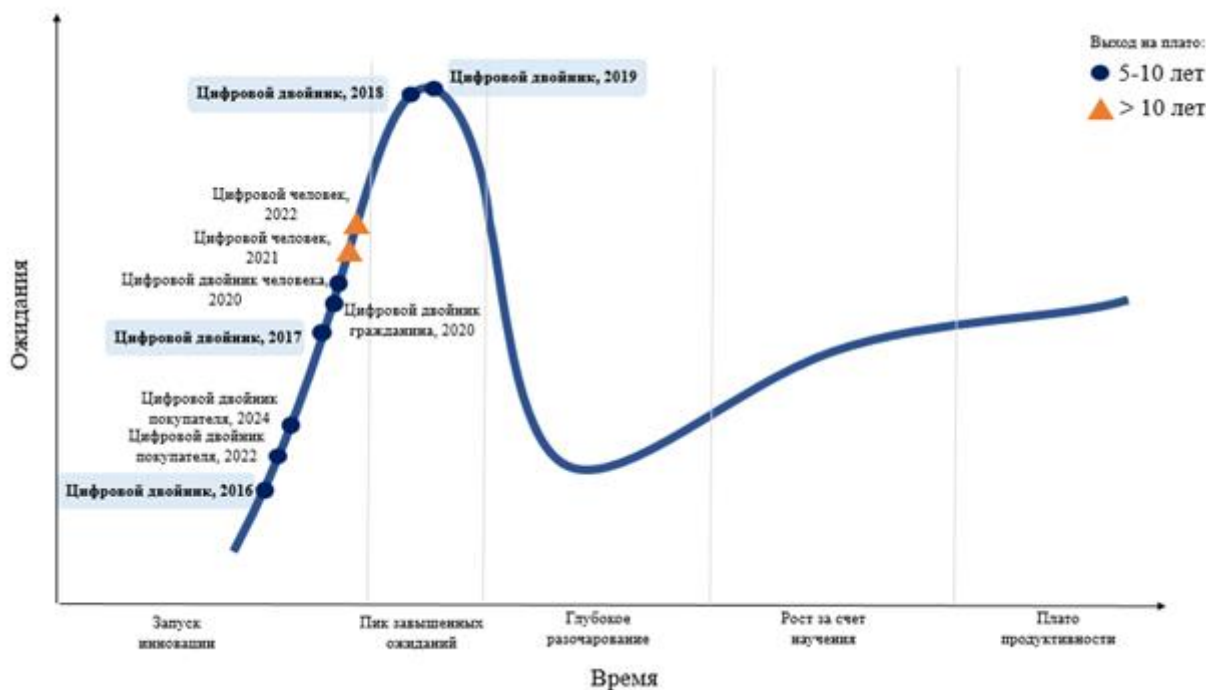


Рисунок 3. Обобщенная кривая хайпа 2016 – 2024 гг. (составлено автором на основе материалов Gartner Inc.)

Можно сделать вывод, что в 2016 г., когда технология ЦД только появилась на кривой и по сегодняшний день, когда появились новые версии двойника, технология не перестает быть в начале кривой на этапе запуска, что лишний раз подчеркивает ее значимость и необходимость для процессов цифровой трансформации.

С целью проследить эволюцию технологии в разрезе ее появления на кривых Гартнер, а также в составе технологических трендов, была составлена табл. 1, в которой приведены упоминания ЦД на различных кривых Гартнер и демонстрируется, в какие годы и в каких направлениях стали уделять внимание этой технологии, что демонстрирует эволюционное развитие ЦД. Кроме того, немаловажным является то, что технология на протяжении 6 лет (2017–2022 гг.) упомянута как стратегический тренд для технологического развития не только бизнес-процессов, но и в обрабатывающей промышленности, логистических цепочках, госу-

дарственном секторе. Для государственного сектора технология ЦД гражданина отмечена дважды на кривых в 2019 и 2022 гг., что позволяет говорить о росте внимания к этой технологии со стороны управляющих органов.

Таблица 1

Появление технологии цифровых двойников на кривых Гартнер в 2016–2024 гг.

Год	Наименование кривой	Упоминание технологии в трендах	Комментарий
2016	Кривая хайпа для интернета вещей / Gartner Hype Cycle for the Internet of Things	отсутствует	Первое появление технологии на кривой
2017	Кривая хайпа для интернета вещей / Gartner Hype Cycle for the Internet of Things	отсутствует	
	Кривая хайпа для новых технологий / Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies	ЦД входит в Топ-10 технологических трендов в 2017 г.	ЦД занимает 5 место среди стратегических трендов
2018	Кривая хайпа для интернета вещей / Gartner Hype Cycle for the Internet of Things	ЦД входит в Топ-10 технологических трендов в 2018 г.	ЦД занимает 4 место среди стратегических трендов
	Кривая хайпа для новых технологий / Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies	ЦД входит в Топ-5 трендов среди новых технологий в 2018 г.	ЦД включен в тренд «Цифровые экосистемы» под номером 2
2019	Кривая хайпа для интернета вещей / Gartner Hype Cycle for the Internet of Things	ЦД входит в Топ-10 стратегических технологических трендов для обрабатывающей промышленности на 2020 г.	ЦД включен как часть тренда №1 «Гиперавтоматизация»
	Кривая хайпа значимых технологий для цифрового правительства / Hype Cycle for Digital Government Technology	ЦД входит в Топ-10 технологических трендов в 2019 г.	ЦД находится на 4 месте среди трендов, а также указан как часть тренда №8 «Умные пространства»
	Кривая хайпа для технологий преобразования цифровых сетей (Grid-transformation) / Hype Cycle for Digital Grid Transformation Technologies	ЦД входит Топ-8 технологических трендов в области цепочек поставок на 2019 г.	ЦД занимает 6 место среди трендов
2020	Кривая хайпа для новых технологий / Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies	ЦД гражданина и ЦД человека входят в Топ-5 трендов среди новых технологий	ЦД гражданина и человека являются частью тренда № 5 «Цифровые медиа»
2021	Кривая хайпа для новых технологий / Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies	Цифровой человек включен в Топ-3 трендов для кривой хайпа новых технологий	Цифровой человек указан в тренде 2 «Ускорение роста»
2022	Кривая хайпа для новых технологий / Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies	ЦД покупателя и цифровой человек указаны входят в Топ-3 трендов	ЦД покупателя и цифровой человек указаны в тренде № 1: Развитие/расширение

Год	Наименование кривой	Упоминание технологии в трендах	Комментарий
		для кривой хайпа новых технологий	иммерсивных возможностей
	Кривая хайпа для услуг цифрового правительства / Hype cycle for Digital Government Services	отсутствует	ЦД гражданина на кривой отмечен в разделе «Стратегические перспективы и форсайты»
2023	отсутствует	отсутствует	
2024	Кривая хайпа для новых технологий / Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies	отсутствует	ЦД покупателя указан разделе «Расширение возможностей за счет всеобъемлющей экспертизы»
	Кривая хайпа для выручки и технологий продаж / Hype Cycle for Revenue and Sales Technology	отсутствует	ЦД покупателя отмечен как технология, способная изменить способ продажи товаров или услуг организациями и предоставить клиентам лучший пользовательский опыт, что приведет к увеличению доходов и прочным отношениям с клиентами

Источник: составлено автором на основе материалов Gartner Inc.

Таким образом, подводя итог анализа кривых Gartner за девятилетний период, важно сделать следующие выводы.

1. Технология цифровых двойников прошла длинный путь от становления на кривой для интернета вещей в 2016 г., когда только начинался этап запуска и горизонт выхода на плато составлял 5–10 лет, до последующего продвижения на кривых ажиотажа в период с 2017–2019 гг.

2. Переломный момент настал в 2020 г., когда для технологии цифровых двойников начался новый этап эволюции: ЦД сошли с кривых ажиотажа для новых технологий.

3. За пятилетний период (2016–2020 гг.) технология прочно вошла в технологические, производственные и цифровые процессы компаний, были внедрены не только пилотные проекты, но успешно реализованы кейсы с внедрением цифровых двойников атомных станций, самолетных и автомобильных двигателей, электростанций, газо-/нефтедобывающих месторождений, в сфере здравоохранения были сконструированы ЦД оборудования, лабораторий, лекарственных препаратов.

4. В период с 2021 по 2024 г. технология цифровых двойников продолжала эволюционировать и развиваться. Появились цифровые двойники человека, гражданина, покупателя, цифровые люди (digital humans).

Все это свидетельствует и подчеркивает важность и незаменимость технологии, с каждым годом появляются дополнительные технологические улучшения к цифровому двойнику.

Технология эволюционирует и намечается тренд для появления цифровых двойников под определенные отрасли и характерные для этих отраслей задачи.

2. Динамика рынка цифровых двойников

При анализе эволюции цифровых двойников важно также оценить емкость и проанализировать финансовый потенциал рынка, чтобы иметь понимание драйверов дальнейшего развития технологии. Для оценки перспектив дальнейшего развития рынка технологии цифровых двойников обратимся к данным аналитического агентства «Precedence Research». Важно отметить, что данные по рынку приведены только по технологии цифровых двойников, что включает в себя ЦД продукта (продуктовый цифровой двойник) ЦД процессов (процессный ЦД), ЦД системы (системный ЦД). На сегодняшний день анализ рынка представлен без учета недавно появившихся цифровых двойников человека, гражданина, покупателя и цифровых людей, так как данные спецификации лишь начали появляться на кривой, и рынок данных решений еще не сформирован.

На рисунке 4 представлен график мирового рынка цифровых двойников на 2023–2033 гг. (Digital Twin market..., 2024). Стоит обратить внимание на ежегодный рост объемов мирового рынка цифровых двойников, что не только служит доказательством того, что ЦД являются технологией, прочно закрепившейся на рынке с момента первого своего появления на кривой Gartner, но прорывной технологией, обеспечивающей динамичный рост рынка и цифровое лидерство. По данным аналитиков консалтингового агентства «Precedence Research» объем мирового рынка по внедрению ЦД в 2023 г. составил 14,25 млрд долл. В 2024 г. объем рынка вырос до 19,80 млрд долл., что на 38% больше фактического показателя 2023 г. (Digital Twin market..., 2024).



Рисунок 4. Размер рынка по внедрению цифровых двойников 2023–2033 (в млрд долл. США) (Precedence Research, 2024)

Исходя из прогнозных значений на 2025–2033 гг., ожидается, что к 2033 г. мировой объем рынка ЦД достигнет отметки в 383,61 млрд долл., увеличиваясь в среднем на 39% в период с 2024 по 2033 г.

Что касается доли рынка, то на рис. 5 представлен график, описывающий долю рынка ЦД по регионам в 2023 г. (Digital Twin market..., 2024). Ярко выражено лидерство Азиатско-Тихоокеанского региона, на долю которого в 2023 г. приходилось 34,14% от общего объема, наибольший темп роста рынка в этом регионе был обеспечен благодаря внедрению и тестированию пилотных проектов передовых разработок и технологий.

Аналитики из компании «Precedence Research» оценили объем рынка цифровых двойников в Азиатско-Тихоокеанском регионе в 2023 г. в 4,86 млрд долл. По их прогнозам, к 2033 г. объем рынка в данном регионе будет составлять 136,18 млрд долл. с показателем CAGR в 39,5% в период с 2024 по 2033 г. (Digital Twin market..., 2024). Помогает стимулировать развитие рынка расширение использования цифровых двойников в различных отраслях промышленности, а также расширение возможностей подключенности устройств к интернету, что способствует значительному росту рынка цифровых двойников в течение прогнозируемого периода.

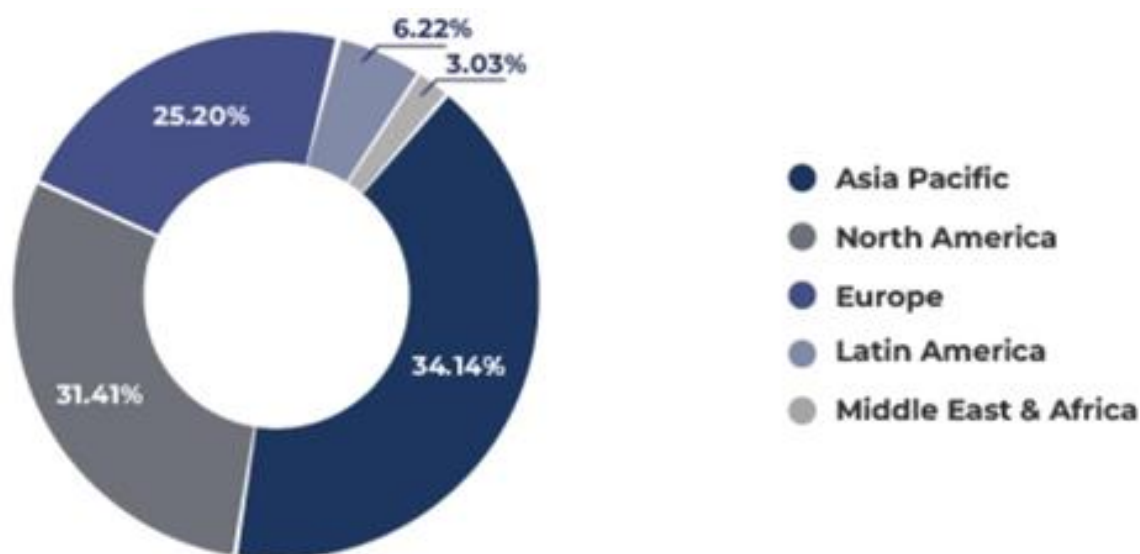


Рисунок 5. Доля рынка цифровых двойников по регионам в 2023 г. (%) (Precedence Research, 2024)

На втором месте по доле рынка находится Северная Америка с небольшим отставанием и долей в 31,41%, где также наблюдается значительный рост внедрения и использования технологии цифрового двойника, а растущий спрос способствует ускоренному росту рынка.

Рынок Европы находится на третьем месте и занимает долю в 25,20%. На Латинскую Америку, Ближний Восток и Африку суммарно приходится менее 10% мирового объема рынка, 6,22% и 3,03% соответственно.

На мировом рынке среди компаний-вендеров по производству цифровых двойников стоит отметить следующие компании, которые являются признанными лидерами в области разработки, инжиниринга и внедрения ЦД в производственные циклы (данный список составлен на основе кейсов по внедрению ЦД, доступных в открытых источниках, а также представленных на официальных сайтах компаний, перечисленных далее): General Electric (США), Microsoft Corporation (США), Hitachi Ltd (Япония), Dassault Systems SE (Франция), Autodesk Inc. (США), SAP SE (Германия), Siemens AG (Германия), ANSYS Inc (США), PTC Inc (США), IBM Corporation (США), ABB (Швейцария), Hexagon AB (Швеция), Oracle Corporation (США), Rockwell Automation Inc (США), Schneider Electric (Франция), Accenture plc (США), Bentley Systems (США), Robert Bosch (Германия), Emerson (США), Honeywell (США), Altair (США),

River Logic (США), ANDRITZ (Австрия). Большинство компаний, производящих ЦД – американские, следом идут европейские производители. Рынок вендоров ЦД в Азиатско-Тихоокеанском регионе пока еще только на этапе становления, преимущественно этот рынок является приобретателем технологий, а не их производителем. На текущий момент преобладание американских компаний и их лидерство на рынке обусловлены тем, что изначально технология двойников была американским изобретением: в частности, американский космический центр NASA (Glaessgen, Stargel, 2012) начал пилотные проекты с применением двойников для летательных аппаратов.

Исходя из анализа рынка и прогнозов по росту финансовых показателей, можно сделать следующие выводы.

1. Эволюция цифровых двойников, которая была прослежена на кривых Gartner, является мощным драйвером роста рынка ЦД на ближайшее десятилетие.
2. Технология ЦД с горизонтом выхода на плато продуктивности 5–10 лет будет способствовать развитию рынка и обеспечивать среднегодовой темп роста на уровне 39% в период 2024–2033 гг..

3. Тренды и тенденции дальнейшего развития цифровых двойников

В Индустрии 4.0 в эпоху цифровой трансформации важно уметь отслеживать и вовремя считывать тренды в развитии технологий, чтобы оставаться среди лидеров рынка и сохранять конкурентное преимущество. Некоторое время технология ЦД была в тени, по мнению А.И. Боровкова, это было сделано намеренно, чтобы дать преимущество компаниям, внедряющим такие решения, перед их конкурентами (Прохоров, Лысачев, 2020).

На сегодняшний день цифровая трансформация является не только прерогативой бизнес-сообществ, но и приоритетом для государственного сектора. Стоит отметить, что в Российской Федерации цифровая трансформация заложена в национальную программу развития до 2030 г., в частности, Минпромторг РФ неоднократно упоминает необходимость повышения внедрения ЦД на предприятиях в своей стратегии цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности с тем, чтобы обеспечить достижение «цифровой зрелости» до 2024 г. и на период до 2030 г. Для реализации проекта «Цифровая промышленность» Правительство РФ выделило бюджет в размере 145 млрд р. до 2024 г. (России нужны..., 2019). Правительство Австралии также понимает важность технологии ЦД и, как следует из отчета, опубликованного в конце 2023 г., несколько австралийских штатов вкладывают большие средства в развитие технологии ЦД. Инвестиции, указанные в отчете, включают инвестиции Нового Южного Уэльса в размере 40 млн долл., штата Виктории – в размере 37,4 млн долл., штата Западная Австралия – в размере 140 млн долл. (Digital Twin..., 2023; Digital Twin technology..., 2024; NSW to build out..., 2023). Министерство торговли США в мае 2024 г. в рамках программы «ЧИПы для Америки» направит около 285 млн долл. на создание первого в своем роде института, специализирующегося на разработке, валидации и использовании цифровых двойников для производства полупроводников, усовершенствованной упаковки, сборки и тестирования (CHIPS for America ..., 2025). Соединенное Королевство в 2023 г. внедрило национальную программу по цифровым двойникам (NDTP), направленную на расширение национального потенциала в области технологий и процессов посредством цифровых двойников по всей стране (National Digital Twin..., 2023). В данном контексте нельзя не упомянуть инициативу ЕС по созданию и внедрению цифрового двойника океана. Данный проект стартовал в 2021 г.,

когда председатель Европейской комиссии Урсула Фон дер Ляйен объявила о создании европейского цифрового двойника океана на саммите «Один океан» (One Ocean) в Бресте. Начиная с 2021 г., Европейская комиссия в рамках рабочей программы «Миссия – восстановить наш океан и водные ресурсы» ежегодно инвестирует около 15 млн евро в развитие европейского ЦД океана (European Digital Twin..., 2022).

Среди компаний-производителей ЦД, как и среди компаний, внедряющих данные решения в свои производственные циклы, сегодня особенно отчетливо проявляется несколько трендов. В ходе проведенного анализа кривых Gartner и мирового рынка цифровых двойников можно выделить следующие тренды.

- Расширение области применения: цифровой двойник используется в различных отраслях промышленности не автономно, а вместе с большим количеством приложений, что позволит расширять производство и выводить новые продукты, повышать их эффективность за счет увеличения подключенности к промышленному интернету вещей (IIoT) и объединению различных цифровых платформ на базе ЦД.

- Анализ данных в режиме реального времени с помощью облачных рабочих станций становится драйвером цифрового объединения, позволяя выявлять проблемы и занимать предиктивным обслуживанием без каких-либо перерывов в рабочем процессе.

- Увеличение объемов инвестиций со стороны ключевых игроков рынка влечет за собой развитие исследований и разработок с целью внедрения новых услуг в ЦД (цифровой двойник клиента на кривой Gartner). Наблюдается необходимость в проведении дальнейших исследований с использованием инновационных технологий. Это будет служить дальнейшим драйвером роста рынка цифровых двойников человека (пациента/клиента) и позволит собирать информацию и данные как с механических объектов, так и с живых систем (Лапидус, Кравченко, 2024).

- Наблюдается рост влияние и инвестиций со стороны государственного сектора, что способствует расширению производственных мощностей, росту внедрения сетей последнего поколения – 5G, что существенно ускоряет рабочие процессы и стимулирует рынок ЦД, обеспечивая высокие темпы роста и улучшение производственной инфраструктуры.

Ученые из Голландии в 2023 г. провели исследование и в ходе интервьюирования 19 экспертов из индустрии и научных школ, связанных с различными этапами функционирования цифровых двойников, выявили еще один немаловажный тренд. В частности, была отмечена тенденция к разработке модульных или конфигурируемых ЦД, часто использующих интегрированные среды разработки на основе компонентов для разработки ЦД путем объединения повторно используемых компонентов (Muctadir et al., 2024). Этот тренд также связан с устойчивым обеспечением развития инновационных технологий (Digital twin trends..., 2024), важность которого также подчеркивает разработчик инжиниринговых платформ и облачных решений, компания HCLTech. HCLTech также фокусирует индустрию ЦД на тренде *слияния технологии IoT с цифровыми двойниками*, что позволит получить беспрецедентные возможности для подключенности и анализа данных с огромного количества устройств одновременно. Компания добавляет, что дополнение цифровых двойников технологиями AR/VR – это тренд, который будет набирать все большую популярность. Консалтинговая компания EY в своем отчете выделяет тренд на слияние ЦД с IoT, и в свою очередь подчеркивает, что организациям, внедряющим технологию двойников следует разработать конкретную «дорожную

карту», понять преимущества и проблемы, которые могут появиться при внедрении технологии, оценить технологические требования и ресурсы, наладить партнерские отношения с экспертами, провести РОС-проекты, а также протестировать и проанализировать эффективность (Tech Trends Series..., 2024).

Таким образом, технология цифровых двойников является инструментом, который позволяет цифровизировать производственные процессы, обеспечить предиктивный мониторинг с целью раннего выявления «узких мест», повысить скорость принятия решений и тем самым получать максимальные эффекты для бизнеса.

Заключение

Цифровые двойники являются одним из важнейших факторов в цифровой трансформации предприятий реального сектора экономики. Интеграция этой технологии в производственные циклы позволяет переходить на качественно новый уровень управления компанией на основе данных и технологии искусственного интеллекта. Цифровые двойники предоставляют возможности моделирования, прогнозирования и предикции процессов. Благодаря технологии цифровых двойников компании способны адаптироваться к происходящим изменениям в реальном времени, обладая высокой скоростью принятия решений за счет сокращения временных и операционных издержек. Эффект от внедрения этой технологии будет возрастать за счет унификации данных и интеграции операционных процессов, появлении новых типов цифровых двойников и интеграции в технологию ЦД технологий IoT, AR, VR.

Проследив эволюцию технологии на кривых Gartner с ее первого появления в 2016 г. и поэтапного продвижения вплоть до 2019 г., когда технология ЦД была на пике кривой на этапе завышенных ожиданий, ухода с кривой ажиотажа для новых технологий в 2020 г. В период 2020–2024 гг. на кривых появились эволюционировавшие цифровые двойники человека, гражданина, покупателя, и технологий цифровых людей. Важно отметить, что технология двойников сохраняет горизонт выхода на плато 5–10 лет, а технологии цифрового человека присвоен больший период выхода на плато – более 10 лет. Все это говорит о непрекращающемся развитии технологии, ее востребованности на рынке и готовности компаний внедрять ее в свои циклы и модернизировать по мере выхода новых, более совершенных двойников.

Проанализированные данные объема и динамики рынка на ближайшие 10 лет также свидетельствуют о высоком потенциале развития и широком поле применения цифровых двойников во всех отраслях промышленности. Выделенные тренды и тенденции указывают на дальнейшую эволюцию ЦД, помогают сформировать системный взгляд с учетом аспектов все большего расширения областей применения ЦД и задач, для которых данная технология будет эффективна. Немаловажными являются рост инвестиций в разработку и вывод новых ЦД на рынок и усиление роли государственного сектора. Технология цифровых двойников отличается высокой наукоемкостью, поэтому при ее внедрении следует консультироваться как с индустриальными экспертами, так и с научными.

Список литературы

Индикаторы цифровой экономики: 2024: статистический сборник / В.Л. Абашкин, Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишнеvский, Л.М. Гохберг и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. 276 с.

Лapidус Л.В., Кравченко А.А. Внедрение цифровых двойников в производственные циклы биотехнологических компаний в контексте концепции Pharma 4.0 // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2024. № 5. С. 11–25. DOI: 10.25198/2077-7175-2024-5-11.

Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: ООО «АльянсПринт». 2020. 401 с.

Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года) / А.И. Боровков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. СПб.: Политехпресс, 2019. 62 с.

Dedehayir O., Steinert M. The hype cycle model: A review and future directions // Technological Forecasting and Social Change. 2016. Vol. 108 (C). P. 28–41. DOI: [10.1016/j.techfore.2016.04.005](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.005).

Dingli A. The citizen twin: designing the future of public service using artificial intelligence // IPS Journal. 2021. No. 1. P. 20–39.

Glaessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles. 2012. DOI: [10.2514/6.2012-1818](https://doi.org/10.2514/6.2012-1818).

Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. 2016. DOI: [10.13140/RG.2.2.26367.61609](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609)

Muctadir H.M., Manrique Negrin D.A., Gunasekaran R. et al. Current trends in digital twin development, maintenance, and operation: an interview study // Softw Syst Model. 2024. No. 23. P. 1275–1305. DOI: [10.1007/s10270-024-01167-z](https://doi.org/10.1007/s10270-024-01167-z).

Алексей Боровков выступил с визионерской лекцией для руководителей компании АО «Группа “Илим”» // Официальный сайт Центра компетенций Национальной технологической инициативы по направлению «Новые производственные технологии» на базе Института передовых производственных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого: URL: <https://nticenter.spbstu.ru/news/7352> (дата обращения: 10.11.2024).

Компьютерные модели и моделирование // Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 57700.37–2021, пункт 3.1.3: URL: <https://gost.gtsever.ru/Data/758/75810.pdf> (дата обращения: 14.10.2024).

России нужны 145 миллиардов на цифровых двойников // CNEWS: URL: https://www.cnews.ru/news/top/2019-10-13_rossii_nuzhny_145_milliardov (дата обращения: 01.09.2024).

Технологии проектирования, технологии производства, технологии мышления: Интервью А.И. Боровкова для журнала «Инновации» // Инновации. 2017. № 11 (229). С. 6–14: URL: <https://maginnov.ru/ru/zhurnal/arhiv/2017/innovacii-n11-2017/tehnologii-proektirovaniya-tehnologii-proizvodstva-tehnologii-myshleniya> (дата обращения: 10.11.2024).

Топ-10 цифровых технологий в России и мире // ИСИЭЗ НИУ ВШЭ: URL: <https://is-sek.hse.ru/news/1000447295.html> (дата обращения: 04.04.2025).

3 Themes Surface in the 2021 Hype Cycle for Emerging Technologies // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-themes-surface-in-the-2021-hype-cycle-for-emerging-technologies> (дата обращения: 03.11.2024).

5 Trends Drive the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2020 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020> (дата обращения: 25.11.2024).

5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018#:~:text=This%20year%2C%20Gartner%20organized%20the,immersive%20experiences%20and%20ubiquitous%20infrastructure> (дата обращения: 25.11.2024).

A Digital Twin of the Customer Could Transform Your Supply Chain Digitalization Strategy // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/supply-chain/insights/beyond-supply-chain-blog/a-digital-twin-of-the-customer-could-transform-your-supply-chain-digitalization-strategy> (дата обращения: 25.11.2024).

CHIPS for America Announces \$285 million Funding Opportunity for a Digital Twin and Semiconductor CHIPS Manufacturing USA Institute // U.S. Department of Commerce: URL: <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/05/chips-america-announces-285-million-funding-opportunity-digital-twin> (дата обращения: 07.03.2025).

CIO's Guide to Capturing Value from the Gartner Hype Cycle™ // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/insights/gartner-hype-cycle> (дата обращения: 01.09.2024).

Digital Twin market size, share, and trends 2024 to 2033 // Precedence Research: URL: <https://www.precedenceresearch.com/digital-twin-market> (дата обращения: 01.09.2024).

Digital twin trends in 2024 // HCLTech: URL: <https://www.hcltech.com/trends-and-insights/digital-twin-trends-2024> (дата обращения: 03.12.2024).

Digital twins: The art of the possible in product development and beyond // McKinsey&Company: URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-twins-the-art-of-the-possible-in-product-development-and-beyond> (дата обращения: 12.12.2024).

Digital Twin technology to elevate State's data capabilities // The Government of Western Australia: URL: <https://www.wa.gov.au/government/media-statements/Cook-Labor-Government/Digital-Twin-technology-to-elevate-State's-data-capabilities--20240301> (дата обращения: 17.11.2024).

Digital Twin White Paper // Standards Australia March 2023: URL: <https://www.standards.org.au/documents/digital-twin-white-paper> (дата обращения: 01.09.2024).

Gartner 2019 Hype Cycle Shows Cloud Office Has Hit Mainstream Adoption in Government Agencies // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-08-28-gartner-2019-hype-cycle-shows-cloud-office-has-hit-mainstream-adoption-in-government-agencies> (дата обращения: 17.11.2024).

Gartner 2024 Hype Cycle for Emerging Technologies Highlights Developer Productivity, Total Experience, AI and Security // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-total-experience-ai-and-security> (дата обращения: 08.09.2024).

Gartner hype cycle // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (дата обращения: 01.09.2024).

Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2017 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017> (дата обращения: 01.09.2024).

Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream-use> (дата обращения: 17.11.2024).

Gartner Top 10 Strategic Technology Trends For 2020 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020> (дата обращения: 08.09.2024).

Gartner Top 10 Strategic Technology Trends For 2019 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019> (дата обращения: 08.09.2024).

Global digital twins market report 2021-2026 - Over 95% of vendors recognize the need for IoT APIs and platform integration with digital twinning functionality // Yahoo! Finance: URL:

<https://finance.yahoo.com/news/global-digital-twins-market-report-082800157.html> (дата обращения: 20.08.2024).

European Digital Twin of the Ocean (European DTO) // European Commission: URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/restore-our-ocean-and-waters/european-digital-twin-ocean-european-dto_en (дата обращения: 12.03.2025).

Hype Cycle for Digital Grid Transformation Technologies, 2019 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/documents/3953769/hype-cycle-for-digital-grid-transformationtechnologies> (дата обращения: 17.11.2024).

Hype Cycle for the Internet of Things, 2018 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/documents/3883066/hype-cycle-for-the-internet-of-things-2018> (дата обращения: 08.09.2024).

Hype Cycle for the Internet of Things, 2019 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/documents/3947474/hype-cycle-for-the-internet-of-things-2019> (дата обращения: 08.09.2024).

ISO 23247-1:2021 // Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles: URL: <https://www.iso.org/standard/75066.html> (дата обращения: 14.10.2024).

National Digital Twin Programme // GOV.UK: URL: <https://www.gov.uk/government/collections/the-national-digital-twin-programme-ndtp> (дата обращения: 07.03.2025).

NSW to build out digital twin features // InnovationAus.com: URL: <https://www.innovationaus.com/nsw-to-build-digital-twin-features/#:~:text=NSW%2C%20which%20is%20funded%20with,move%20based%20on%20school%20catchments> (дата обращения: 03.12.2024).

Quick Answer: What is a Digital Human? // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4359699> (дата обращения: 25.11.2024).

Tech Trends Series: EY India // EY India: URL: <https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/en-in/services/technology/tech-trends-series/ey-india-tech-trends-series-july-2024-v1.pdf> (дата обращения: 03.12.2024).

Technologies Underpin the Hype Cycle for the Internet of Things, 2016 // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/7-technologies-underpin-the-hype-cycle-for-the-internet-of-things-2016> (дата обращения: 08.09.2024).

What's New in the 2022 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> (дата обращения: 25.11.2024).

What's New in the 2023 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies // Gartner: URL: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2023-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> (дата обращения: 08.09.2024).

THE EVOLUTION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY ON GARTNER CYCLE FOR THE PERIOD 2016–2024

Anastasiia A. Kravchenko

Postgraduate student,

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Economics

(Moscow, Russia)

Abstract

Digital twins (DT) are one of the key technologies in the era of digital transformation. The Gartner Analytical agency offers an important tool for analyzing the level of technology maturity and forecasting its further development, which in turn allows us to identify trends that contribute to the further evolution of the technology.

The purpose of the article is to analyze the place of technology on the Gartner curve and identify the features of its evolution in the context of digital transformation over the period 2016-2024. The study used the method of comparative analysis of Gartner curves, which showed that data centers are at the stage of inflated expectations in a number of areas, but in industry they are gradually moving to the stage of reaching a plateau of productivity.

Based on the analysis of Gartner curves and forecasts of the growth of the twin market, it was concluded that this technology will be increasingly in demand in industry to improve business processes, manage the organization, and increase efficiency. Also, the analysis revealed a growth trend in the DT market and financial indicators, and the ten-year forecast of market development indicates a trend towards 39% CARG in the period 2024-2033.

Keywords: digital twin, digitalization, Industry 4.0., process modeling, digital modeling, digital transformation.

JEL: M15, O31, O32, O33.

For citation: Kravchenko, A.A. (2025) The Evolution of Digital Twin Technology on Gartner Cycle for the Period 2016–2024. Scientific Research of Faculty of Economics. Electronic Journal, vol. 17, no. 2, pp. 88-110. DOI: 10.38050/2078-3809-2025-17-2-88-110.

References

Indikatory tsifrovoy ekonomiki: 2024: statisticheskiy sbornik / V.L. Abashkin, G.I. Abdrakhmanova, K.O. Vishnevskiy, L.M. Gokhberg i dr.; Nats. issled. un-t «Vysshaya shkola ekonomiki». M.: ISIEZ VShE, 2024. 276 p. (In Russ).

Lapidus L.V., Kravchenko A.A. Vnedrenie tsifrovyykh dvoynikov v proizvodstvennyye tsikly biotekhnologicheskikh kompaniy v kontekste kontseptsii Pharma 4.0. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. 2024. No. 5. P. 11–25. DOI: 10.25198/2077-7175-2024-5-11. (In Russ).

Prokhorov A., Lysachev M. Tsifrovoy dvoynik. *Analiz, trendy, mirovoy opyt*. M.: OOO «Al'yansPrint». 2020. 401 s. (In Russ).

Tsifrovye dvoyniki v vysokotekhnologichnoy promyshlennosti. *Kratkiy doklad (sentyabr' 2019 goda) / A.I. Borovkov, A.A. Gamzikova, K.V. Kukushkin, Yu.A. Ryabov*. SPb.: Politekh-press, 2019. 62 p. (In Russ).

Dedehayir O., Steinert M. The hype cycle model: A review and future directions. *Technological Forecasting and Social Change*. 2016. Vol. 108 (C). P. 28–41. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.04.005.

Dingli A. The citizen twin: designing the future of public service using artificial intelligence. *IPS Journal*. 2021. No. 1. P. 20–39.

Glaessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles. 2012. DOI: 10.2514/6.2012-1818.

Grieves M. Origins of the Digital Twin Concept. 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.26367.61609

Muctadir H.M., Manrique Negrin D.A., Gunasekaran R. et al. Current trends in digital twin development, maintenance, and operation: an interview study. *Softw Syst Model*. 2024. No. 23. P. 1275–1305. DOI: 10.1007/s10270-024-01167-z.

Aleksey Borovkov vystupil s vizionerskoy leksiey dlya rukovoditeley kompanii AO «Gruppa “Ilim”». *Ofitsial'nyy sayt Tsentra kompetentsiy Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy po napravleniyu «Novye proizvodstvennyye tekhnologii» na baze Instituta peredovykh proizvodstvennykh tekhnologiy Sankt-Peterburgskogo politekhnicheskogo universiteta Petra Velikogo*: Available at: <https://nticenter.spbstu.ru/news/7352> (accessed: 10.11.2024). (In Russ.).

Komp'yuternye modeli i modelirovanie. *Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii GOST R 57700.37–2021, punkt 3.1.3*: Available at: <https://gost.gtsever.ru/Data/758/75810.pdf> (accessed: 14.10.2024). (In Russ.).

Rossii nuzhny 145 milliardov na tsifrovyykh dvoynikov. *CNEWS*: Available at: https://www.cnews.ru/news/top/2019-10-13_rossii_nuzhny_145_milliardov (accessed: 01.09.2024). (In Russ.).

Tekhnologii proektirovaniya, tekhnologii proizvodstva, tekhnologii myshleniya: Interv'y u A.I. Borovkova dlya zhurnala «Innovatsii». *Innovatsii*. 2017. № 11 (229). С. 6–14: Available at: <https://maginnov.ru/ru/zhurnal/arhiv/2017/innovacii-n11-2017/tehnologii-proektirovaniya-tehnologii-proizvodstva-tehnologii-myshleniya> (accessed: 10.11.2024). (In Russ.).

Top-10 tsifrovyykh tekhnologiy v Rossii i mire. *ISIEZ NIU VShE*: Available at: <https://is-sek.hse.ru/news/1000447295.html> (accessed: 04.04.2025). (In Russ.).

3 Themes Surface in the 2021 Hype Cycle for Emerging Technologies. *Gartner*: Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-themes-surface-in-the-2021-hype-cycle-for-emerging-technologies> (accessed: 03.11.2024).

5 Trends Drive the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2020. *Gartner*: Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020> (accessed: 25.11.2024).

5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018. *Gartner*: Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018#:~:text=This%20year%2C%20Gartner%20organized%20the,immersive%20experiences%20and%20ubiquitous%20infrastructure> (accessed: 25.11.2024).

A Digital Twin of the Customer Could Transform Your Supply Chain Digitalization. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/supply-chain/insights/beyond-supply-chain-blog/a-digital-twin-of-the-customer-could-transform-your-supply-chain-digitalization-strategy> (accessed: 25.11.2024).

CHIPS for America Announces \$285 million Funding Opportunity for a Digital Twin and Semiconductor CHIPS Manufacturing USA Institute. U.S. Department of Commerce: Available at: <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2024/05/chips-america-announces-285-million-funding-opportunity-digital-twin> (accessed: 07.03.2025).

CIO's Guide to Capturing Value from the Gartner Hype Cycle™. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/insights/gartner-hype-cycle> (accessed: 01.09.2024).

Digital Twin market size, share, and trends 2024 to 2033. Precedence Research: Available at: <https://www.precedenceresearch.com/digital-twin-market> (accessed: 01.09.2024).

Digital twin trends in 2024. HCLTech: Available at: <https://www.hcltech.com/trends-and-insights/digital-twin-trends-2024> (accessed: 03.12.2024).

Digital twins: The art of the possible in product development and beyond. McKinsey&Company: Available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digital-twins-the-art-of-the-possible-in-product-development-and-beyond> (accessed: 12.12.2024).

Digital Twin technology to elevate State's data capabilities. The Government of Western Australia: Available at: <https://www.wa.gov.au/government/media-statements/Cook-Labor-Government/Digital-Twin-technology-to-elevate-State's-data-capabilities--20240301> (accessed: 17.11.2024).

Digital Twin White Paper. Standards Australia March 2023: Available at: <https://www.standards.org.au/documents/digital-twin-white-paper> (accessed: 01.09.2024).

Gartner 2019 Hype Cycle Shows Cloud Office Has Hit Mainstream Adoption in Government Agencies. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-08-28-gartner-2019-hype-cycle-shows-cloud-office-has-hit-mainstream-adoption-in-government-agencies> (accessed: 17.11.2024).

Gartner 2024 Hype Cycle for Emerging Technologies Highlights Developer Productivity, Total Experience, AI and Security. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-total-experience-ai-and-security> (accessed: 08.09.2024).

Gartner hype cycle. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (accessed: 01.09.2024).

Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2017. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017> (accessed: 01.09.2024).

Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream-use> (accessed: 17.11.2024).

Gartner Top 10 Strategic Technology Trends For 2020. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020> (accessed: 08.09.2024).

Gartner Top 10 Strategic Technology Trends For 2019. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019> (accessed: 08.09.2024).

Global digital twins market report 2021-2026 - Over 95% of vendors recognize the need for IIoT APIs and platform integration with digital twinning functionality. Yahoo! Finance: Available at:

<https://finance.yahoo.com/news/global-digital-twins-market-report-082800157.html> (accessed: 20.08.2024).

European Digital Twin of the Ocean (European DTO). European Commission: Available at: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/restore-our-ocean-and-waters/european-digital-twin-ocean-european-dto_en (accessed: 12.03.2025).

Hype Cycle for Digital Grid Transformation Technologies, 2019. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/documents/3953769/hype-cycle-for-digital-grid-transformationtechnologies> (accessed: 17.11.2024).

Hype Cycle for the Internet of Things, 2018. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/documents/3883066/hype-cycle-for-the-internet-of-things-2018> (accessed: 08.09.2024).

Hype Cycle for the Internet of Things, 2019. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/documents/3947474/hype-cycle-for-the-internet-of-things-2019> (accessed: 08.09.2024).

ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles: Available at: <https://www.iso.org/standard/75066.html> (accessed: 14.10.2024).

National Digital Twin Programme. GOV.UK: Available at: <https://www.gov.uk/government/collections/the-national-digital-twin-programme-ndtp> (accessed: 07.03.2025).

NSW to build out digital twin features. InnovationAus.com: Available at: <https://www.innovationaus.com/nsw-to-build-digital-twin-features/#:~:text=NSW%2C%20which%20is%20funded%20with,move%20based%20on%20school%20catchments> (accessed: 03.12.2024).

Quick Answer: What is a Digital Human? Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/documents/4359699> (accessed: 25.11.2024).

Tech Trends Series: EY India. EY India: Available at: <https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/en-in/services/technology/tech-trends-series/ey-india-tech-trends-series-july-2024-v1.pdf> (accessed: 03.12.2024).

Technologies Underpin the Hype Cycle for the Internet of Things, 2016. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/7-technologies-underpin-the-hype-cycle-for-the-internet-of-things-2016> (accessed: 08.09.2024).

What's New in the 2022 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> (accessed: 25.11.2024).

What's New in the 2023 Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies. Gartner: Available at: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2023-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies> (accessed: 08.09.2024).