

## Природа, сущность и классификация цифровых двойников

**Анастасия Анатольевна Кравченко**

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,  
[kravchenko.anastasia35@gmail.com](mailto:kravchenko.anastasia35@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-3930-0809>

### Аннотация

**Цель.** Исследовать особенности, присущие цифровым двойникам (далее — ЦД) в рамках анализа понятия «цифровой двойник», а также выделить тенденции развития рынка двойников.

**Задачи.** Провести сравнительный анализ относительно понятия «цифровой двойник» и разработать классификацию ЦД; выявить тенденции развития рынка ЦД в условиях Индустрии 4.0.

**Методология.** Теоретическую базу исследования составили публикации в отечественных и зарубежных научных изданиях, нормативно-правовые документы, отчеты международных индустриальных и консалтинговых компаний, а также данные аналитических агентств. Автором использованы методы системного анализа и структурно-функциональный подход.

**Результаты.** Мировой рынок ЦД ежегодно растет, а среднегодовой темп роста достигает 39 %. Анализ показал, что в трактовке дефиниции «цифровой двойник» существуют различия как среди компаний-производителей, так и среди представителей научных школ, что обусловлено еще не устоявшимся терминологическим аппаратом, относительно недавним выходом нормативных документов (ISO, ГОСТ) и различием в описании внутренних составляющих технологии двойников у производителей этой цифровой технологии. В статье предложена классификация ЦД исходя из различных типов ЦД, продукта, функций, конечного потребителя и компонентов. Охарактеризованы тенденции дальнейшего развития рынка ЦД в условиях цифровой трансформации Индустрии 4.0.

**Выводы.** В реалиях цифровой экономики тренд на внедрение технологии ЦД в производственные циклы набирает все большую популярность и является необходимостью для достижения конкурентного преимущества, обеспечения повышения производительности за счет большей автоматизации и высвобождения ресурсов. Рынок ЦД с каждым годом стремительно растет, а значит, важно не только своевременно увидеть тенденции, чтобы обеспечить отрыв от конкурентов, но и иметь стратегическое видение и понимание технологии. Представленные классификации могут быть полезны руководителям цифровой трансформации в компаниях, внедряющих ЦД в свои производственные циклы.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, цифровая трансформация, цифровая модель, цифровое моделирование, цифровые платформы, Индустрия 4.0, цифровая экономика

**Для цитирования:** Кравченко А. А. Природа, сущность и классификация цифровых двойников // *Экономика и управление*. 2025. Т. 31. № 1. С. 125–134. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2025-1-125-134>

## Nature, essence, and classification of digital twins

**Anastasiya A. Kravchenko**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, [kravchenko.anastasia35@gmail.com](mailto:kravchenko.anastasia35@gmail.com),  
<https://orcid.org/0009-0004-3930-0809>

### Abstract

**Aim.** The work aimed to study the features inherent in digital twins (hereinafter referred to as DT) within the analysis of the “digital twin” concept, and to highlight the twin market development trends.

© Кравченко А. А., 2025

**Objectives.** The work seeks to conduct a comparative analysis regarding the concept of “digital twin” and develop a classification of digital twins, as well as to identify the development trends of the digital twin market in the context of Industry 4.0.

**Methods.** The study theoretical basis consisted of scientific publications in Russia and other countries, regulatory documents, reports of international industrial and consulting companies, as well as data from analytical agencies. The author used methods of system analysis, as well as structural and functional approach.

**Results.** The global digital twin market is growing annually, and the average annual growth rate reaches 39%. The analysis showed differences in the interpretation of the definition of “digital twin” both among manufacturing companies and among representatives of scientific schools, which is due to the still unsettled terminology, the relatively recent release of regulatory documents (ISO, GOST), and the difference in the description of the internal components of the twin technology among manufacturers of this digital technology. The article proposes a classification of digital twins based on various types of digital twins, product, functions, end-use customers, and components. The work characterizes the trends in the further development of the digital twin market in the context of the digital transformation of Industry 4.0.

**Conclusions.** In the digital economy realities, the trend for the implementation of digital twin technology in manufacturing cycles is gaining more and more popularity and is a necessity for achieving a competitive advantage, while ensuring increased productivity through greater automation and the release of resources. The digital twin market is growing rapidly every year, which implies that it is important not only to see trends in a timely manner in order to lengthen the lead over competitors, but also to have a strategic vision and understanding of the technology. The presented classifications can be useful for digital transformation managers in companies implementing digital twins in their production cycles.

**Keywords:** *digital twin, digital transformation, digital model, digital modeling, digital platforms, Industry 4.0, digital economy*

**For citation:** Kravchenko A.A. Nature, essence, and classification of digital twins. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2025;31(1):125-134. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2025-1-125-134>

## Введение

Технология цифрового двойника (далее — ЦД) относительно молода. Понятие «цифровой двойник» появилось в научном обороте в 2002 г. благодаря М. Гривзу [1; 9]. С этого момента это понятие стало предметом обсуждения в научном и бизнес-сообществе. Однако ЦД возникают на кривой Gartner только в 2016 г. Технология показана как потенциально значимая (Gartner — кривая технологий интернета вещей) [2], и ей присвоен статус: начало запуска [3]. С 2016 г. ЦД периодически появлялись на кривой Gartner и исчезали. В 2024 г. на кривой (Gartner — кривая доходов и технологий продаж) появился цифровой двойник клиента [4]. Это также указывает на важность и значимость технологии на протяжении длительного времени, знаменует переход из разряда «технологического блокбастера» в категорию обязательных к наличию в производственных циклах, обеспечивающей технологическое преимущество и отрыв от конкурентов.

Эксперты подсчитали, что решения с поддержкой ЦД в умных городах достигнут

3,77 млрд долл. [5] к 2026 г. Кроме того, к 2026 г. до 91 % всех платформ интернета вещей будут содержать в той или иной форме возможности цифрового дублирования. К 2028 г. ЦД станет стандартным функционалом для поддержки приложений IoT. Ведущие решения в области ЦД будут включать в себя дублирование активов, дублирование компонентов, дублирование систем, дублирование рабочих процессов [5].

Сегодня более 95 % поставщиков осознают необходимость API-интерфейсов IoT и интеграции платформ с функциями ЦД для промышленных вертикалей. Более 40 % руководителей в широком спектре отраслевых сфер понимают преимущества ЦД и 57 % из них планируют внедрить их в свою деятельность к 2028 г.

Аналитики EY пишут о том, что ЦД помогают промышленным организациям достичь значимых преимуществ в R&L: повысить ежегодную эффективность планирования на 10–30 %, увеличить ежегодно чистую прибыль на 1–2 %, а пропускную способность предприятия на 5–10 %, что, в свою очередь, приведет к сокращению затрат на 10–30 % [6]. Мировой рынок ЦД также

демонстрирует положительную динамику. По данным аналитиков консалтингового агентства Precedence Research, объем мирового рынка ЦД в 2023 г. составил 14,25 млрд долл. США. Прогнозное значение на 2024 г. — 19,80 млрд долл. США, что на 38 % [7] больше фактического показателя 2023 г. С учетом прогноза ожидают, что к 2033 г. мировой объем рынка ЦД достигнет отметки в 383,61 млрд долл. США, увеличиваясь в среднем на 39 % с 2024 по 2033 год [7]. Такая динамика показывает, что технология ЦД прочно закрепилась на рынке среди других инновационных технологий, имеет большой потенциал для роста и увеличения внедрения в повседневные процессы компаний.

### Материалы и методы

Идея создания «двойника» процесса или продукта восходит к концу 60-х гг. XX в., когда NASA собрало два идентичных космических аппарата для проекта «Аполлон» [8]. В указанный период один из двух использовали в качестве «близнеца», отражающего все части и состояния аппарата, отправленного в космос. В данном случае «близнец» имитировал поведение физического объекта в реальном времени. Определение термина «цифровой двойник» введено в научный оборот М. Гривзом в 2002 г., в контексте отраслевой презентации по управлению жизненным циклом продукта в Мичиганском университете. Гривз определил ЦД следующим образом: «Цифровой двойник представляет собой набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или реальный физически производимый продукт от микроатомного уровня до макрогеометрического уровня» [9].

С момента появления первого определения ЦД предложено множество разных точек зрения в отношении него. Однако наиболее популярной и в полной мере отражающей суть этого понятия дефиницией стало определение ученых-разработчиков ЦД Э. Глессгена и Д. Старгеля из исследовательского центра NASA и Центра научных исследований Военно-воздушных сил (ВВС) США. По их словам, «цифровой двойник — это интегрированное мультифизическое, многомасштабное, вероятностное моделирование готового транспортного средства или системы, в котором используются наи-

лучшие доступные физические модели, обновления датчиков, история парка и т. д., чтобы отразить срок службы соответствующего летающего двойника. Цифровой двойник является ультрареалистичным и может учитывать одну или несколько важных и взаимосвязанных систем транспортного средства, включая корпус, силовую установку и накопители энергии, жизнеобеспечение, авионику, тепловую защиту» [10].

Ученые, в частности представители научной школы производственных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) под руководством А. И. Боровкова, определяют ЦД как «компьютерную модель реального объекта или процесса, которая воспроизводит его состояние в различных условиях» [11]. Они также делают акцент на том, что ее масштаб может быть любым: от небольшой детали до целого предприятия. Однако главное — это то, что виртуальная копия может появиться раньше изделия, и в этом заключается одна из главных особенностей цифрового «брата». А. И. Боровков и его команда принимали активное участие в разработке национального стандарта РФ: ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».

Согласно ГОСТ Р 57700.37–2021, цифровой двойник изделия — система, состоящая из цифровой модели и двусторонних информационных связей с изделием (при его наличии) и (или) с его составными частями [12]. Из указанного государственного стандарта следует, что цифровая модель изделия — система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний, по ГОСТ 16504–81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения», выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям [12]. Математическая модель — модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений [13]. Компьютерная модель — модель, выполненная в компьютерной (вычислительной)

среде и представляющая собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными [13].

Международное агентство по стандартизации также имеет дефиницию ЦД. По ISO 23247-1-2021, «цифровой двойник — это цифровое представление наблюдаемого производственного элемента с взаимной синхронизацией между ними» [14]. Принято считать, что полный ЦД состоит из физического компонента, виртуального компонента и автоматизированного обмена данными между физическим и виртуальным компонентами двойника [15]. В идеале цифровой компонент должен включать в себя информацию о системе, которую потенциально можно получить от ее физического аналога. Это идеальное представление реальной физической системы должно быть конечной целью ЦД. Но для практического использования в промышленности в настоящее время преобладают упрощенные или частичные ЦД, включая использование цифровой модели. В ней существует цифровое представление физической системы без автоматизированной передачи данных в обоих направлениях и цифровой тени, при этом действует модель с односторонней передачей данных от физического к виртуальному компоненту [15; 16].

Крупные корпорации также имеют собственные вариации в уточнении понятия ЦД. Так, Siemens указывает, что «цифровой двойник — это цифровая копия физического объекта, которая включает в себя 3D-модель объекта в сочетании с динамическими данными для обеспечения простой для понимания визуализации и анализа». В качестве примера рассмотрен ЦД здания, и при этом компания Siemens приводит составные элементы ЦД:

- ЦД устройств в здании;
- ЦД структурных компонентов (статические данные) здания (поэтажные планы, расположение активов и т. д.);
- ЦД динамических данных (данные о производительности, временные ряды данных) [17].

По мнению специалистов General Electric, «цифровой двойник — это организованный набор методов, основанных на физике, и расширенной аналитике, которые используются для моделирования текущего состояния каждого актива на цифровой электростанции» [18]. Кроме того, корпорация обращает внимание на то, что по своей сути

ЦД состоит из сложных моделей или системы моделей, основанных на глубоких знаниях предметной области определенных промышленных активов.

Корпорация Emerson трактует технологию следующим образом: «Цифровой двойник — это представление физических активов предприятия (т. е. технологического оборудования, контрольно-измерительных приборов и средств управления) и процессов, происходящих в них (т. е. химических реакций, процессов разделения, теплопередачи)» [19]. Компания IBM определяет ЦД следующим образом: «виртуальное представление объекта или системы, разработанное для точного отображения физического объекта» [20]. В IBM утверждают, что ЦД охватывает жизненный цикл объекта, обновляется на основе данных в режиме реального времени и использует моделирование, машинное обучение и интеллект для принятия решений. Это мощный инструмент для производителей, поскольку он получает информацию от датчиков, которые собирают данные с физического аналога двойника, передают на платформу IoT и дополняют их искусственным интеллектом.

Разработчик ЦД в области архитектуры, инжиниринга и строительства — компания Autodesk — предлагает следующую дефиницию: «Цифровой двойник — это динамичная, обновляемая копия физического объекта или группы объектов, будь то здание, кампус, город или железная дорога, которая объединяет данные о проектировании, строительстве и эксплуатации» [21]. Корпорация указывает, что, несмотря на особенности индустрий, в которых внедряют ЦД, ключевая основа определения остается неизменной: ЦД — это цифровое отражение физического объекта или системы. В отличие от цифровой модели или симуляции, ЦД не является статичным. Точно так же, как изменяется в процессе эксплуатации здание, изменяется и его ЦД. Двойник быстро реагирует и продолжает развиваться по мере поступления новых данных, таких как данные искусственного интеллекта, датчиков или интернета вещей.

### Результаты и их обсуждение

В процессе анализа особенностей в определениях и характеристиках цифрового двойника среди ученых-теоретиков, в нормативно-правовых документах и у промышленных

## Сравнительный анализ определений и характеристик понятия «цифровой двойник»

Table 1. Comparative analysis of definitions and characteristics of the concept of “digital twin”

№ п/п	Источник	Определение	Атрибуты ЦД
1	ГОСТ Р 57700.37–2021	Цифровой двойник изделия — система, состоящая из цифровой модели и двусторонних информационных связей с изделием (при его наличии) и (или) с его составными частями	Цифровая модель. Двусторонние информационные связи
2	ISO 23247-1-2021	Цифровой двойник — это цифровое представление наблюдаемого производственного элемента с взаимной синхронизацией между ними	Цифровое представление. Физический объект. Взаимная синхронизация
3	М. Гривз и др., 2017	Цифровой двойник представляет собой набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный или реальный физически производимый продукт от микроатомного уровня до макрогеометрического уровня	Набор виртуальных информационных конструкций. Физический объект
4	Центр компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) СПбПУ «Новые производственные технологии» (Боровков и др., 2019)	Цифровой двойник — компьютерная модель реального объекта или процесса, которая воспроизводит его состояние в различных условиях	Компьютерная модель. Физический объект
5	Исследовательский центр NASA Langley в Хэмптоне (Э. Глессген, Д. Старгель, 2012)	Цифровой двойник — это интегрированное мультифизическое, многомасштабное, вероятностное моделирование готового транспортного средства или системы, в котором используют наилучшие доступные физические модели, обновления датчиков, история парка и т. д., чтобы отразить срок службы соответствующего летающего двойника	Мультифизическое многомасштабное вероятностное моделирование. Физические модели. Датчики
6	General Electric, 2016	Цифровой двойник — это организованный набор методов, основанных на физике и расширенной аналитике, которые используют для моделирования текущего состояния каждого актива	Набор методов, основанных на физике. Расширенная аналитика
7	Siemens AG, 2018	Цифровой двойник — это цифровая копия физического объекта, которая включает в себя 3D-модель объекта в сочетании с динамическими данными в целях обеспечения простой для понимания визуализации и анализа	Физический объект. 3D-модель объектов. Поток динамических данных
8	Emerson, 2019	Цифровой двойник — это представление физических активов предприятия (т. е. технологического оборудования, контрольно-измерительных приборов и средств управления) и процессов, происходящих в них (т. е. химических реакций, процессов разделения, теплопередачи)	Визуализация физических объектов и процессов
9	IBM Corporation, 2020	Цифровой двойник — это виртуальное представление объекта или системы, разработанное для точного отображения физического объекта. ЦД охватывает жизненный цикл объекта, обновляется на основе данных в режиме реального времени, использует моделирование, машинное обучение и интеллект для принятия решений	Физический объект. Виртуальное моделирование. Поток динамических данных. Машинное обучение и интеллект
10	Autodesk Inc. 2021	Цифровой двойник — это динамичная, обновляемая копия физического объекта или группы объектов, будь то здание, кампус, город или железная дорога, которая объединяет данные о проектировании, строительстве и эксплуатации	Динамичная, обновляемая копия. Физический объект

Источник: составлено автором.

компаний, создающих и внедряющих цифровые двойники, нами составлена таблица 1. В ней представлены определения и характеристики ЦД.

Из таблицы 2 следует, что ЦД включает в себя разноплановые аспекты, в зависимости от назначения (автопробег машины в километрах, текущие поломки, наличие

**Классификация цифровых двойников**

Table 2. Classification of digital twins

Технология цифрового двойника	Функционал	Потенциальные эффекты
По типу	Цифровой двойник системы. Цифровой двойник продукта. Цифровой двойник процесса	– оптимизация производства; – разработка продукта и прототипирование; – профилактическое обслуживание
По продукту	Дополненная реальность и виртуальная реальность. Интернет вещей и IIoT. Искусственный интеллект и машинное обучение. Аналитика больших данных	– смешанная реальность (MR), расширенная реальность (ER); – когнитивные сервисы и продвинутая аналитика; – иммерсивные голограммы; – беспроводные сенсорные сети; – киберфизические системы
По функциям	Плановое техническое обслуживание, модернизация и ремонт. Управление эффективностью активов. Оптимизация бизнеса и операций. Интеграция поставщиков	– предиктивное обслуживание; – мониторинг износа активов и инфраструктуры; – объединение двойников операционных и логистических баз
По типу внедрения	Облако / облачные решения. На территории клиента	– облачные рабочие станции; – облачный рендеринг
По компоненту	Программное обеспечение. Сервисные услуги	– вертикальная интеграция; – горизонтальная интеграция; – end-to-end инженерная оптимизация
По типу предприятия	Крупные предприятия. Средние предприятия. Малые предприятия	– цифровой двойник завода; – цифровой двойник цеха, лаборатории; – цифровой двойник оборудования
По конечному пользователю	Инфраструктура городского планирования. Автомобильная промышленность. Логистика и трансформация. Производство. Авиация и оборона. Выработка энергии. Разведка нефти и газа. Розничная торговля. Здравоохранение	– управление жизненным циклом здания, мониторинг инфраструктуры; – отслеживание и оптимизация автопарка; – управление складом, оптимизация цепочки поставок; – мониторинг производительности; – разработка лекарственных средств, мониторинг состояния пациентов; – мониторинг и реагирование на чрезвычайные ситуации; – проектирование и моделирование объектов

Источник: составлено автором.

ремонта физического объекта). Однако из таблицы 2 также видно, что компании-вендоры технологических решений дают более развернутые определения ЦД. Это может быть связано со спецификой двойников применительно к той или иной отрасли, жизненному циклу продукта или системе, которую моделирует двойник.

Ключевым в приведенных определениях является то, что ЦД — цифровая реплика существующего в действительности объекта, воплощающая строение, продукт, оснащенный техническими характеристиками и назначение такого объекта.

ЦД соединяет физический и виртуальный мир, служит ключевым инструментом для понимания и моделирования производительности и прогнозирования активов,

оптимизации их работы и обслуживания. Поскольку ЦД включает в себя жизненный цикл актива, непрерывное обновление для отражения реальности выступает одним из центральных требований.

В таблице 2 представлена классификация, исходя из вида ЦД, его функций, компонентов, конечного пользователя, а также эффектов и возможностей, которые они несут для предприятий Индустрии 4.0:

Как указано ранее, технология ЦД объединяет существующий процесс в физическом объекте с его цифровой копией, в функции которого входят цифровое дублирование, интеграция процессов, тестирование вариативных сценариев, мониторинг и техническое/предиктивное обслуживание. ЦД предполагает синхронизацию процесса

в реальном времени с физической системой. Характеристики, присущие ЦД, связаны с расширением возможностей путем использования технологий 4/5G подключенности, промышленного интернета вещей (IIoT), вертикальной и горизонтальной интеграций посредством беспроводных сенсорных сетей. Все это помогает собирать данные и интегрировать их в бизнес-процессы, достигая эффектов от скорости обработки информации и автоматизации процесса принятия решений на базе данных, что, в свою очередь, способствует ускорению роста рынка ЦД в течение прогнозируемого периода.

В индустрии, как среди компаний-производителей ЦД, так и среди компаний, внедряющих эти решения в свои производственные циклы, можно выделить несколько тенденций, которые служат драйвером развития индустрии в целом:

- расширение области применения — ЦД используют в различных отраслях промышленности не автономно, а вместе с множеством приложений, что позволяет 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 [7];
- анализ данных в режиме реального времени с помощью облачных рабочих станций стал драйвером цифрового объединения, позволяя выявлять проблемы и занимать предиктивным обслуживанием без перерывов в рабочем процессе [6];
- государственная поддержка — усилилось участие государственного сектора, что способствует расширению производственных мощностей, росту внедрения сетей последнего поколения (5G), существенно ускоряет рабочие процессы и стимулирует рынок ЦД, обеспечивая высокие темпы роста и улучшение производственной инфраструктуры;
- 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) [4; 22]. Проведение исследований с использованием передовых технологий способствует росту рынка ЦД человека (пациента/клиента), позволяя собирать информацию не только с механических объектов, но и с людей.

## Выводы

Подводя итог, укажем, что настоящее исследование позволяет сформировать системное понимание ЦД, его компонентов и функционала. Важно учитывать тот фактор, что с каждым годом ЦД усложняются, агрегируя в себе все большее количество цифровых платформ, приложений и дополнительного функционала. Анализ рынка ЦД показывает положительную динамику и оптимистичные прогнозы дальнейшего роста.

В последние несколько лет осведомленность о технологии ЦД как об инструменте, позволяющем соединить физический и цифровой мир, растет в геометрической прогрессии. Подтверждением служат официальные документы, регламентирующие определение ЦД (ГОСТ, ISO). Однако анализ определений ЦД показал наличие разночтений в понятийном аппарате. Общий знаменатель, объединяющий бизнес, научные школы и государство, сводится к тому, что в ЦД обязательным видится наличие физического компонента, его виртуальной модели или их набора, а также обмена информацией между ними в двустороннем режиме.

В Индустрии 4.0 руководителям компаний нужно иметь набор цифровых компетенций, необходимых при внедрении данной технологии, а также понимании системных эффектов и трансформации, которые она в себе несет. Представленная в исследовании классификация ЦД формирует понимание типов функций, компонентов ЦД и возможностей, которые несет такая технология. Это, в свою очередь, поможет обеспечить цифровое лидерство. Чтобы не только обеспечить, но и сохранить цифровое лидерство, важно уметь раньше других распознавать тенденции развития рынка.

В современных реалиях со всеми ограничениями, возможностями и рисками, которые имеет технология двойников, компаниям, которые пока еще находятся на стадии оценки перспективности технологии ЦД, следует обратить внимание на то, что научно-технический прогресс, диффузия инноваций ведут к стремительному появлению новых ЦД с множеством субтехнологий в них. За счет этого драйверы конкурентоспособности очень быстро изменяются. Нужно непрерывно их отслеживать, чтобы не выбыть из технологической гонки и не потерять конкурентное преимущество.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Grieves M.* Origins of the digital twin concept // Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. Cham: Springer-Verlag, 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.26367.61609
2. *Forni A. A.* Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2017 // Gartner. 2016. October 18. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2016-10-18-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2017> (дата обращения: 20.08.2024).
3. *Panetta K.* Technologies underpin the hype cycle for the internet of things, 2016 // Gartner. 2016. November 2. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/7-technologies-underpin-the-hype-cycle-for-the-internet-of-things-2016> (дата обращения: 20.08.2024).
4. *Dixon J., Brackenbury J.* Gartner hype cycle reveals top technologies that will transform sales in the next decade, 2024 // Gartner. 2024. August 28. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-27-gartner-hype-cycle-reveals-top-technologies-that-will-transform-sales-in-the-next-decade> (дата обращения: 20.08.2024).
5. 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. 2021. April 21. URL: <https://finance.yahoo.com/news/global-digital-twins-market-report-082800157.html> (дата обращения: 20.08.2024).
6. *Lulla S., Anand D.* Can a supply chain digital twin make you twice as agile? // EY. 2021. Mar 1. URL: [https://www.ey.com/en\\_gl/insights/advanced-manufacturing/can-a-supply-chain-digital-twin-make-you-twice-as-agile](https://www.ey.com/en_gl/insights/advanced-manufacturing/can-a-supply-chain-digital-twin-make-you-twice-as-agile) (дата обращения: 01.09.2024).
7. Digital twin market size, share, and trends 2025 to 2034 // Precedence Research. 2024. 28 June. URL: <https://www.precedenceresearch.com/digital-twin-market> (дата обращения: 01.09.2024).
8. *Nadhan D., Mayani M. G., Rommetveit R.* Drilling with digital twins // IADC/SPE Asia Pacific drilling technology conference and exhibition. Bangkok: Society of Petroleum Engineers, 2018. 18 p. DOI: 10.2118/191388-MS
9. *Grieves M. W.* Digital twins: Past, present, and future // Crespi N., Drobot A. T., Minerva R., eds. The digital twin. Cham: Springer-Verlag, 2023. P. 97–121. DOI: 10.1007/978-3-031-21343-4
10. *Glaessgen E., Stargel D.* The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles // 53<sup>rd</sup> AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference (Honolulu, April 23-26, 2012). Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. DOI: 10.2514/6.2012-1818
11. *Прохоров А., Лысачев М.* Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2020. 401 с.
12. ГОСТ Р 57700.22–2020. Компьютерные модели и моделирование. Классификация: утв. приказом Росстандарта от 13 ноября 2020 г. № 1073-ст // Гарант.ру: информ.-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/400953231/> (дата обращения: 14.10.2024).
13. ГОСТ Р 57188–2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения: утв. приказом Росстандарта от 24 октября 2016 г. № 1496-ст // Гарант.ру: информ.-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/71888260/?ysclid=m6otz7k9xj855597280> (дата обращения: 14.10.2024).
14. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles // ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/75066.html> (дата обращения: 14.10.2024).
15. *Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn W.* Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. No. 11. P. 1016–1022. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474
16. Алексей Боровков выступил с визионерской лекцией для руководителей компании АО «Группа „Илим“» // Центр компетенций Национальной технологической инициативы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (НТИ СПбПУ). 2020. 29 мая. URL: <https://nticenter.spbstu.ru/news/7352> (дата обращения: 30.10.2024).
17. Digital twin — Driving business value throughout the building life cycle. Zug: Siemens Switzerland Ltd., 2018. 16 p. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:610b5974-241d-4321-8ae6-55c6167446bf/bim-digitwin-ru.pdf> (дата обращения: 15.09.2024).
18. GE digital twin. Analytic engine for the digital power plant // GE Power Digital Solutions. 2016. URL: [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/Digital-Twin-for-the-digitalpower-plant-.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Digital-Twin-for-the-digitalpower-plant-.pdf) (дата обращения: 15.09.2024).
19. Emerson digital twin: A key technology for digital transformation // Emerson. White Paper. 2019. January. URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-emerson-digital-twin-a-key-technology-for-digital-transformation-mimic-en-5262472.pdf> (дата обращения: 15.09.2024).

20. What is a digital twin? // IBM. 2021. 5 August. URL: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin?ysclid=m45oc9m3cn265692226> (дата обращения: 15.09.2024).
21. Demystifying digital twin. For architecture, engineering, and construction. San Francisco, CA: Autodesk, 2021. 12 p. URL: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/digital-twin/architecture-engineering-construction/pdf/adsk-aec-digital-twin-ebook.pdf> (дата обращения: 15.09.2024).
22. Argolini R., Bonalumi F., Deichmann J., Pellegrinelli S. Digital twins: The key to smart product development // McKinsey & Company. 2023. July. 31. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/digital-twins-the-key-to-smart-product-development> (дата обращения: 30.10.2024).

## References

1. Grieves M. Origins of the digital twin concept. In: Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. Cham: Springer-Verlag; 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.26367.61609
2. Forni A.A. Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2017. Gartner. Oct. 18, 2016. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2016-10-18-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2017> (accessed on 20.08.2024).
3. Panetta K. Technologies underpin the hype cycle for the Internet of things, 2016. Gartner. Nov. 02, 2016. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/7-technologies-underpin-the-hype-cycle-for-the-internet-of-things-2016> (accessed on 20.08.2024).
4. Dixon J., Brackenbury J. Gartner hype cycle reveals top technologies that will transform sales in the next decade. Gartner. Aug. 28, 2024. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-27-gartner-hype-cycle-reveals-top-technologies-that-will-transform-sales-in-the-next-decade> (accessed on 20.08.2024).
5. 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. Apr. 21, 2021. URL: <https://finance.yahoo.com/news/global-digital-twins-market-report-082800157.html> (accessed on 20.08.2024).
6. Lulla S., Anand D. Can a supply chain digital twin make you twice as agile? EY. Mar 01, 2021. URL: [https://www.ey.com/en\\_gl/insights/advanced-manufacturing/can-a-supply-chain-digital-twin-make-you-twice-as-agile](https://www.ey.com/en_gl/insights/advanced-manufacturing/can-a-supply-chain-digital-twin-make-you-twice-as-agile) (accessed on 01.09.2024).
7. Digital twin market size, share, and trends 2025 to 2034. Precedence Research. 28 Jun. 28, 2024. URL: <https://www.precedenceresearch.com/digital-twin-market> (accessed on 01.09.2024).
8. Nadhan D., Mayani M. G., Rommetveit R. Drilling with digital twins. In: IADC/SPE Asia Pacific drilling technology conference and exhibition. Bangkok: Society of Petroleum Engineers; 2018:18. DOI: 10.2118/191388-MS
9. Grieves M.W. Digital twins: Past, present, and future. In: Crespi N., Drobot A.T., Minerva R., eds. The digital twin. Cham: Springer-Verlag; 2023:97-121. DOI: 10.1007/978-3-031-21343-4
10. Glaessgen E., Stargel D. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles. In: 53<sup>rd</sup> AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference (Honolulu, April 23-26, 2012). Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics; 2012. DOI: 10.2514/6.2012-1818
11. Prokhorov A., Lysachev M. Digital twin: Analysis, trends, world experience. Moscow: Al'yansPrint; 2020. 401 p. (In Russ.).
12. GOST R 57700.22–2020. Computer models and modeling. Classification. Approved by order of Rosstandart dated November 13, 2020 No. 1073-st. Garant.ru. URL: <https://base.garant.ru/400953231/> (accessed on 14.10.2024). (In Russ.).
13. GOST R 57188–2016. Numerical modeling of physical processes. Terms and definitions. Approved by order of Rosstandart dated October 24, 2016 No. 1496-st. Garant.ru. URL: <https://base.garant.ru/71888260/?ysclid=m6otz7k9xj855597280> (accessed on 14.10.2024). (In Russ.).
14. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration – digital twin framework for manufacturing. Part 1: Overview and general principles. ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/75066.html> (accessed on 14.10.2024).
15. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihm W. Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine. 2018;51(11):1016-1022. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474
16. Alexey Borovkov gave a visionary lecture for the management of JSC Ilim Group. Competence Center of the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. May 29, 2020. URL: <https://nticenter.spbstu.ru/news/7352> (accessed on 30.10.2024). (In Russ.).

17. Digital twin – driving business value throughout the building life cycle. Zug: Siemens Switzerland Ltd.; 2018. 16 p. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:610b5974-241d-4321-8ae6-55c6167446bf/bim-digitwin-ru.pdf> (accessed on 15.09.2024).
18. GE digital twin. Analytic engine for the digital power plant. GE Power Digital Solutions. 2016. URL: [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/Digital-Twin-for-the-digitalpower-plant-.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Digital-Twin-for-the-digitalpower-plant-.pdf) (accessed on 15.09.2024).
19. Emerson digital twin: A key technology for digital transformation. Emerson. White Paper. Jan. 2019. URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-emerson-digital-twin-a-key-technology-for-digital-transformation-mimic-en-5262472.pdf> (accessed on 15.09.2024).
20. What is a digital twin? IBM. Aug. 05, 2021 URL: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin?ysclid=m45oc9m3cn265692226> (accessed on 15.09.2024).
21. Demystifying digital twin: For architecture, engineering, and construction. San Francisco, CA: Autodesk; 2021. 12 p. URL: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/digital-twin/architecture-engineering-construction/pdf/adsk-aec-digital-twin-ebook.pdf> (accessed on 15.09.2024).
22. Argolini R., Bonalumi F., Deichmann J., Pellegrinelli S. Digital twins: The key to smart product development. McKinsey & Company. Jul. 31, 2023. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/digital-twins-the-key-to-smart-product-development> (accessed on 30.10.2024).

### Сведения об авторе

**Анастасия Анатольевна Кравченко**

аспирант

Московский государственный университет  
имени М. В. Ломоносова

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

SPIN-код: 8442-3412

Поступила в редакцию 11.12.2024  
Прошла рецензирование 25.12.2024  
Подписана в печать 21.02.2025

### Information about the author

**Anastasiya A. Kravchenko**

postgraduate student

Lomonosov Moscow State University

1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

SPIN: 8442-3412

Received 11.12.2024  
Revised 25.12.2024  
Accepted 21.02.2025

**Конфликт интересов:** автор декларирует отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest related to the publication of this article.