УДК 338.2:658.511
JEL L23, L86, M15, O32

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА

Бейнар Ирина Анатольевна[1], канд. экон. наук, доц.
Наролина Татьяна Станиславовна[1], канд. экон. наук, доц.
Смотрова Татьяна Ивановна[1, 2], канд. экон. наук

[1] Воронежский государственный технический университет, Московский пр., 14, Воронеж, Россия, 394026; e-mail: beinar@mail.ru; narolina@inbox.ru; s-tanik@yandex.ru

[2] Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, Воронеж, Россия, 394018; e-mail: s-tanik@yandex.ru

Предмет: современные процессы цифровизации базируются на применении ряда цифровых технологий – инструментов трансформации. Одним из самых перспективных из них признается цифровой двойник – динамическая виртуальная копия, функционирующая в режиме реального времени. *Цель*: исследование различных подходов к формированию понятия «цифровой двойник», применимого для большинства пользователей. *Дизайн исследования*: проведено исследование ряда подходов к формированию понятия «цифровой двойник», единого применимого для большинства пользователей, выделены субъективные факторы, определяющие формулировки авторских дефиниций. На основе изучения авторских подходов предложена к использованию еще одна классификация цифровых двойников – по приоритетному объекту. Выдвинуто предположение об ограничивающем влиянии разноплановости трактовок основного понятия на решение практических задач; выделены ключевые сущностные характеристики цифровых двойников и их базовые признаки, основные сферы реализации цифровых решений на основе зарубежных трактовок понятия цифрового двойника и перспективы его практического применения на основе подходов ведущих отечественных корпораций, научно-исследовательских и технологических центров. Методологическую основу исследования составляют общенаучные методы: типологизации, статистического анализа и синтеза, обобщения, системного подхода. *Результаты*: исследованы и сопоставлены приоритетные направления развития инновационных цифровых технологий

и цифровых двойников, в частности, в глобальном и отечественном промышленном секторе. Предложены к рассмотрению причины, ограничивающие возможности полноценного перехода производства на более высокие технологические уклады. Область применения – организация производства на предприятиях промышленных отраслей.

Ключевые слова: цифровой двойник, цифровая трансформация, цифровые технологии, промышленный сектор, виртуальная модель.

DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2026/7/38-50

Введение

Активно проводимая в России цифровизация базируется на трех китах преобразований процессов управленческо-информационной сферы: вариативности-централизации-оптимизации. Вариативность предполагает увеличение возможностей изменчивости и гибкости производственных и бизнес-процессов, централизация – аккумулирование, концентрацию и интегрирование информационных ресурсов, оптимизация – совершенствование и рационализацию всех аспектов управленческих и трудовых процессов: от сокращения временных и человеческих затрат до исключения дублируемых операций.

Все эти преобразования отражают саму суть цифровой трансформации, ложащейся в основу трансформации хозяйственной и экономической – создании цифровой экономики. И если цели Четвертой технологической революции, сформулированные в Industry 4.0 (К. Шваб, 2016), в рамках текущего технологического перехода предполагают широкое распространение и массовое внедрение в промышленность автоматизации бизнес-процессов, IT, IoT, AI (информационных технологий, интернета вещей, искусственного интеллекта)[1], то возвращение в производство человека с его творческой функцией (Industry 5.0) и максимальная автономность AI (Industry 6.0) на всех стадиях жизненного цикла могут быть внедрены лишь точечно, в ограниченных масштабах. Причиной является прежде всего отсутствие соответствующего оснащения, поскольку текущие вычислительные мощности не рассчитаны на возникающий спрос на искусственный интеллект. Помимо этого обстоятельства полноценный переход на более высокие технологические уклады тормозят нехватка квалифицированных специалистов и проблемы с созданием полностью безопасных систем.

Исследование многочисленных подходов к формированию самого понятия ЦД, единого применимого для большинства пользователей, неизбежно выделяет ряд общих факторов, руководствуясь которыми, авторы формулируют свои дефиниции в зависимости от уровня своей компетенции и опыта: характеристики объекта ЦД, уровня развития применяемых технологий, а также сферы деятельности и направления развития самой

[1] Что такое индустрия 4.0 и что нужно о ней знать // РБК. Тренды, 2025. Доступно: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7?from=copy (дата обращения: 02.06.2026).

организации [2]. Однако проведенный анализ многочисленных трактовок однозначно позволяет выявить два ведущих подхода – либо расширенное толкование, позволяющее причислить к ЦД любую цифровую копию с невыясненной степенью адекватности, либо узкоспециализированное решение, удовлетворяющее ряду жестких требований.

Так, одно из доминирующих определений ЦД – цифровая технология, призванная видоизменять прототипы изделий или же целые системы с целью усовершенствования, – предполагает широкий подход к понятию: от, как уже было сказано, прототипа физического изделия до процесса и системы и, с другой стороны, от упрощения объекта до его многовекторного совершенствования.

В практическом плане такая терминология находит отражение в ограниченном подходе к использованию большинством мировых компаний в качестве ЦД виртуальной копии изделия или процесса (одна треть от общей численности за 2023 г., по данным IoT Analytics)[2] для решения задач сокращения сроков внедрения нововведений, оптимизации организации производства и повышения эффективности производственной деятельности. Хотя можно однозначно сказать, что перспективное развитие ЦД с учетом всей совокупности аспектов данной технологии вполне позволяет обеспечить реализацию по меньшей мере двух таких разных направлений развития объектов (систем, процессов, физических элементов), как унификация и совершенствование.

В настоящее время предприятия различных отраслей, расширяющие свои возможности в сфере цифровых технологий, активно используют Цифровой Двойник (ЦД), позволяющий переводить физические и аналоговые формы информации в цифровую. Помимо привлечения ЦД для формирования и реализации процессов, планирования, оптимизации, обслуживания, проектирования, безопасности, принятия решений, удаленного доступа и обучения он может выступать в качестве системы диагностики, которая позволяет определить наличие отклонений в физических показателях и спрогнозировать остаточный ресурс.

Методы и результаты исследования

Реализация отечественных цифровых проектов собственными силами ставит Российскую Федерацию в один ряд с мировыми тенденциями развития глобального рынка технологий. Однако именно в России основополагающим становится применение в основных производственных процессах современных инструментов искусственного интеллекта, таких как машинное обучение и продвинутая аналитика (Advanced Analytics).

Невзирая на относительно небольшую долю ЦД среди всех инновационных техник, имевшихся в распоряжении отечественного производства в 2020 г. (0,02; преобладающие цифровые технологии – промышленные

[2] Цифровой двойник Digital Twin of Organization, DTO. DIS Group // TADVISER, 2026. Доступно: https://www.tadviser.ru/index.php/A_(Digital_Twin_of_Organization,_DTO) (дата обращения: 02.06.2026).

роботы, ИИ, машинное обучение, разработка цифровых прототипов, блокчейн, большие данные, виртуальная реальность)[3] (табл. 1), уже к 2024 г. основные цифровые решения в промышленной сфере России смещаются к AI-алгоритмам для предиктивной аналитики, промышленному Интернету вещей (IoT) и цифровым двойникам (доля – 0,1, рост в 5 раз (!))[4]. В то время как в мире общий интерес производителей теперь сосредотачивается в области систем цифрового проектирования и моделирования бизнес-процессов и внимание в большей степени обращается к ERP-системам для управления ресурсами, MES-системам для контроля производства, системам бизнес-аналитики и ESG-платформам.

Авторское видение современных приоритетов цифровизации в мировом и отечественном промышленном секторе представлено на рис. 1 и 2.

Таблица 1

Динамика применения цифровых технологий в промышленности РФ

Цифровая технология	Динамика доли применимости в промышленности	
	2020 г.	2024 г.
Промышленные роботы	1,0	1,0
Искусственный интеллект	0,86	0,91
Машинное обучение	0,68	0,72
Цифровое протипирование	0,56	0,55
Сенсорика	0,42	0,41
Беспроводная связь	0,3	0,3
Блокчейн	0,21	0,2
Большие данные	0,2	0,4
Виртуальная и дополненная реальность	0,12	0,15
Товар как услуга	0,09	0,1
Компьютерное зрение	0,03	0,03
Смарт-контракты	0,03	0,03
Промышленный интернет вещей	0,03	0,9
Цифровые двойники	0,02	0,1
Умные фабрики	0,01	0,012

[3] Топ-5 цифровых технологий по итогам 2020 года // ИСИЭЗ, 2021. Доступно: https://issek.hse.ru/news/474593170.html (дата обращения: 02.06.2026).

[4] Цифровизация на производстве — ключевые тренды в 2024 году // РБК. Цифровая экономика, 2024. Доступно: https://www.rbc.ru/industries/news/65f2ce8a9a79472218673b81 (дата обращения: 02.06.2026).

Рис. 1. Приоритетные направления развития цифровых технологий в мировом и отечественном промышленном секторе

Согласно оценке топ-менеджмента ориентация отечественных промышленных компаний на освоение технологии «ЦД производства» в ближайшие годы достигнет почти 50%[5], также планируется расширить применение ИИ и BIG DATA. И хотя рейтинг применения ЦД в промышленности РФ среди других цифровых технологий все еще в несколько десятков раз (10-40) отстает от рейтинга BIG DATA или ИИ, однако перспективы его развития к 2026 г. оцениваются экспертами (M&M (MarketsandMarkets), США) на уровне, превышающем 45 млрд долл.[6] (рис. 2).

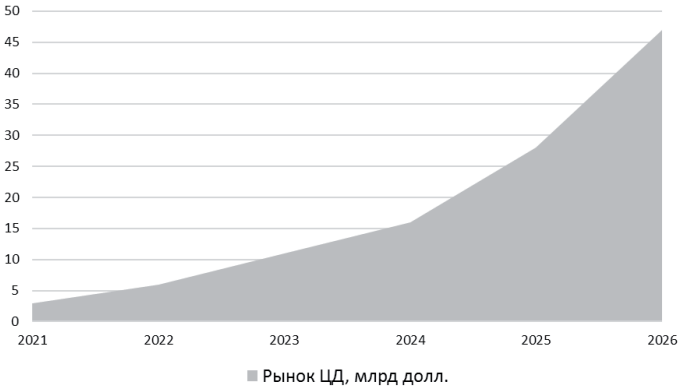

Рис. 2. Прогнозируемая динамика развития мирового рынка ЦД

[5] Промышленность в «цифре». Как происходила модернизация тяжёлых отраслей в 2023-м // СберПро, 2025. Доступно: https://sber.pro/digital/publication/promishlennost-v-tsifre-kak-proishodila-modernizatsiya-tyazhyolih-otraslei-v-223-m/ (дата обращения: 02.06.2026).

[6] Промышленность в «цифре». Как происходила модернизация тяжёлых отраслей в 2023-м // СберПро, 2025. Доступно: https://sber.pro/digital/publication/promishlennost-v-tsifre-kak-proishodila-modernizatsiya-tyazhyolih-otraslei-v-223-m/ (дата обращения: 02.06.2026).

Авторы полагают, что среди разноплановых классификаций ЦД (по виду, по типу, по области применения[7] [1, 4, 5]) имеет смысл выделить еще одну – по приоритетному объекту. С этой точки зрения – по этому критерию – целесообразным представляется выделять ЦД объекта или процесса. Первое классическое определение ЦД (2003 г., М. Гривс) предполагало в качестве объекта исследования именно объект наблюдения – прототип или модель [5]. Соответственно, и область применения ограничивалась промышленным производством. С расширением сферы применения в понятие ЦД включаются виртуальность понятия прототипа и сложное программное обеспечение. Объектами ЦД являются как физические объекты (напр., отдельные детали или единицы оборудования, или же целые компании), так и цифровые технологии. Исследование ряда авторских определений ЦД, используемых в отечественной и зарубежной литературе, позволило выделить ключевые характеристики ЦД, отображающие их сущность (рис. 3).

Рис. 3. Выделение значимых смысловых характеристик определения «ЦД»

По совокупности признаков смысловой нагрузки ЦД следует отметить в дефинициях превалирование процессов двух видов[8]:

– объединения данных и технологий;

– преобразования формы модели в цифровой вид.

В итоге по результатам проведенного [2, 3, 7] анализа авторы получили возможность выделить базовые признаки ЦД (рис. 4).

[7] ГОСТ Р 57700.37-2021 // Национальный стандарт Российской Федерации, 2022. Доступно: https://docs.cntd.ru/document/1200180928 (дата обращения: 02.06.2026).

[8] Два в одном: для чего заводу нужен цифровой близнец // РБК Цифровая Россия. Доступно: http://digital-russia.rbc.ru/article-page_11 .html (дата обращения: 02.06.2026).

Рис. 4. Базовые признаки ЦД (в авторской интерпретации)

Таким образом, ЦД на основе взаимного обмена информацией между виртуальной моделью и ее физическим прототипом обеспечивает не только наблюдение в реальном времени за функционированием динамическими изменениями модели и физического объекта, но и возможность прогнозировать и оптимизировать их поведение и состояние с применением методов машинного обучения и технологий ИИ.

В зарубежных научных трудах основной акцент в применении ЦД делается на воспроизведении действий объекта – потенциального или же реального актива (системы). При этом цифровые решения могут реализовываться в 6 основных сферах применения [13] (табл. 2; очевидно, что исследованные проекты могут применяться не в одной сфере).

Таблица 2

Основные сферы применения решений ЦД

Наименование	Базовая характеристика	Доля проектов, %
Системное прогнозирование	Прогнозирование будущего состояния физической системы с помощью виртуальных копий, отражающих текущие данные	30
Моделирование систем	Тестирование многовариантных сценариев с учетом большого количества разнообразных параметров и переменных перед открытием предприятия или внесением существенных изменений	28
Взаимная совместимость активов	Рационализация исходной информации для стандартизации показателей при эксплуатации в режиме реального времени	24
Техническое обслуживание	Помощь системе на этапе обслуживания для обеспечения эксплуатационной эффективности объекта	21
Визуализация	Применение на этапе эксплуатации системы трёхмерных элементов, дающих представление о работе объекта или сервиса	20
Моделирование продуктов	Моделирование различных элементов и конструкций в виртуальном пространстве для быстрого тестирования многочисленных вариантов изделия без создания дорогостоящих прототипов	9

В отечественной научной литературе превалирует рассмотрение ЦД как «актуализированной динамической копии физического объекта», которая за счет объединения расчетных и эксплуатационных данных позволяет осуществлять «моделирование, прогнозирование и принятие решений» на основе реальных физических условий [12]. Именно эта оценка и обуславливает главную практическую ценность ЦД: возможность тестирования гипотез, прогнозирования поведения и оптимизации. Так, для понимания специфики применения ЦД в России высокотехнологичными компаниями и научными организациями авторами были исследованы представления ведущих отечественных корпораций, научно-исследовательских и технологических центров (таких как Государственные корпорации «Ростех», «Росатом», ПАО «Газпромнефть», АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» («ОДК»), Центральный Институт Авиационного Моторостроения (ЦИАМ) им. Баранова, Группа компаний «Рамакс») о смыслах и процессах цифровых моделей, интегрированных на практике в ЦД. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Отражение подходов к определению ЦД в перспективах его практического применения

Превалирующие характеристики	Корпорация	Определение	Практическое применение
ЦД представляет собой точную виртуальную копию физического мира	ПАО «Газпром нефть»	«Единая модель, достоверно описывающая все процессы и взаимосвязи как на отдельном объекте, так и в рамках целого производственного актива в виде виртуальных установок и имитационных моделей» [8]	Проведение безопасного тестирования: возможность имитации экстремальных нагрузок или аварийных ситуаций в виртуальной среде без риска повреждения реальных установок, моделирование вариантов событий, определять риски и эффективные режимы работы
	ГК «Ростех»	Цифровая копия физического объекта генерирует прогнозы и оценки, которые могут использоваться для улучшения работы и обслуживания реального объекта [9]	
	Группа компаний «Рамакс»	ЦД промышленного предприятия позволяет симулировать поведение оборудования при изменении параметров [10]	
	ГК «Росатом»	Виртуальное полнофункциональное динамическое представление физического объекта (процесса), описывающее поведение прототипа на всех стадиях жизненного цикла [6]	
	АО «ОДК»	Виртуальное представление продукта или процесса, позволяющее осуществлять моделирование и прогнозирование различных характеристик… физического аналога [11]	
ЦД обеспечивает наличие двусторонней информационной связи с физическим активом	ГК «Росатом»	Виртуальное полнофункциональное динамическое представление физического объекта (процесса), описывающее поведение прототипа на всех стадиях жизненного цикла [6]	Проведение удаленного мониторинга через многочисленные датчики (нейтрализация обнаруженных аномалий), за счет чего осуществляются управляющие воздействия на объект (удаленное управление)
	АО «ОДК»	ЦД обеспечивает организацию обратной связи между расчетами и испытаниями [11]	
	ГК «Ростех»	Виртуальная модель используется в связке со своим физическим двойником устанавливается связь между виртуальным и реальным пространством [9]	
ЦД функционирует на протяжении всего жизненного цикла объекта	АО «ОДК»	Обучаемая система, состоящая из комплекса математических моделей,.. предсказывающая поведение на всем жизненном цикле [12]	Прогнозирование износа в ходе анализа прошлых и текущих показателей с целью предотвращения аварий и планирования профилактических ремонтов

Окончание табл. 3

Превалирующие характеристики	Корпорация	Определение	Практическое применение
	ЦИАМ им. Баранова	Единая обучаемая система, включающая комплекс методик и математических моделей, описывающих работу изделия на протяжении всего жизненного цикла [10]	
	ГК «Росатом»	ЦД описывает поведение прототипа на всех стадиях жизненного цикла [9]	
	ГК «Ростех»	Виртуальная модель используется на протяжении всего жизненного цикла: на этапах тестирования, доработки, эксплуатации и утилизации [9]	
	ЦИАМ им. Баранова	Технология ЦД может применяться на всех этапах жизненного цикла продукции [10]	

Потенциальные возможности развития, которые может обеспечить внедряющей организации практическая реализация ЦД, очевидным образом тяготеют к трем направлениям:

– безопасное тестирование;

– удаленный мониторинг и управление;

– прогнозирование износа.

Не стоит забывать, однако, что реальные процессы и системы зачастую имеют не просто сложный и многомерный характер, но и отличаются значительным масштабом и неоднородностью. Все это в случае слишком упрощенного моделирования приводит к существенным ошибкам, которые способны нивелировать все конкурентные преимущества внедрения и использования цифровых двойников.

Заключение

ЦД в настоящее время становятся ключевым моментом цифровой трансформации бизнес-процессов, интегрируя практически все инновационные информационные технологии – робототехнику, BIG DATA, ИИ, интернет вещей, нейросетевые технологии и машинное обучение.

Сама технология ЦД – технология создания конкурентоспособной высокотехнологичной продукции – уже достаточно проработана для полноценного внедрения в ряде отраслей промышленности. Развитие концепции ЦД в России датируется более поздними сроками, чем в западном мире, однако уже к 2019 г. она позволяет рассматривать ЦД как технологию-драйвера, предположительно обеспечивающую переход корпораций на новый уровень технологического развития. Однако при реализации проектов ЦД всегда существует некая доля вероятности, что под дефиницией «ЦД» понимается другая сущность – цифровая модель или цифровая тень, или другой программный инструмент. Именно поэтому важность и актуальность точной формулировки имеет первостепенное значение, позволяя обеспечить

применение ЦД в различных отраслях производства от промышленности до логистики: оптимизировать производство и издержки, повышать производительность труда, снижать производственные и инвестиционные риски.

Список источников

1. Анисимова Н.А. Современные проблемы и тенденции цифровизации в строительстве и других сферах / Н.А. Анисимова, И.В. Понамарева, Г.И. Меркулова // *Цифровая и отраслевая экономика*, 2021, no. 1 (22), с. 51-57.

2. Бейнар И.А., Наролина Т.С., Смотрова Т.И. Особенности организации цифрового производства в РФ // *Регион: системы, экономика, управление*, 2024, no. 1 (64), с. 58-70.

3. Бейнар И.А., Наролина Т.С., Смотрова Т.И. Цифровые аспекты организации производства на предприятиях промышленного сектора // *Регион: системы, экономика, управление*, 2023, no. 3 (62), с. 58-65.

4. Комраков А.В., Сухоруков А.И. Концепция цифрового двойника в управлении жизненным циклом промышленных объектов // *Сетевой научный журнал «Научная идея»*, 2017, no. 3(3). Доступно: http://www.nauch-idea.ru/ (дата обращения: 02.06.2026).

5. Курганова Н.В. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев, А.Г. Шаклеин, Д.Е. Намиот // *International Journal of Open Information Technologies*, 2019, vol. 7, no. 5. Доступно: https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tsifrovyh-dvoynikov-kak-odno-iz-klyuchevyh-napravleniy-tsifrovizatsii-proizvodstva (дата обращения: 02.06.2026).

6. Применение методологии уровней готовности для бережливой разработки цифровых двойников сложных инженерных систем / А.В. Сартори [и др.] // *Экономика науки*, 2020, Т. 6, no. 1–2, с. 62–74.

7. *Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях* / Рук. авт. колл. П.Б. Рудник, Т.С. Зинина; под ред. И.Р. Агамирзяна, Л.М. Гохберга, Т.С. Зининой, П.Б. Рудника; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». Москва, ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. 156 с.

8. Цифровой двойник – эффективный инструмент или еще одно клише Индустрии 4.0? [Электронный ресурс]: Статья // *Журнал «Умное производство»*, 2021. Доступно: https://web.archive.org/web/202103040 (дата обращения: 02.06.2026).

9. *Цифровой двойник: экспериментируя с будущим* [Электронный ресурс]: Новости. Государственная корпорация по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех», 2019. Доступно: https://rostec.ru/news/tsifrovoy-dvoynik-eksperimentiruya-s-budushchim/ (дата обращения: 02.06.2026).

10. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / под ред. А. И. Боровкова. СПб., ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. 492 с.

11. Шмотин Ю. Цифровой двойник. Предпосылки появления цифрового двойника газотурбинного двигателя // *Трамплин к успеху*, 2019, no. 14, с. 8-10.

12. Digital Twins in Construction, Engineering & Architecture [Электронный ресурс]: Overview. Autodesk, 2022. Доступно: https://www.autodesk.com/solutions/digital-twin/architecture-engineering-construction (дата обращения: 02.06.2026).

13. Demystifying Digital Twin For Architecture, Engineering, and Construction [Электронный ресурс]: Electronic book. Autodesk, 2021. Доступно: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/digital-twin/architecture-engineering-construction/pdf/adsk-aec-digital-twin-ebook.pdf (дата обращения: 02.06.2026).

DIGITAL DOUBLE OF PRODUCTION ORGANIZATION IN INDUSTRIAL SECTOR ENTERPRISES

Beinar Irina Anatolyevna[1], Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof.
Narolina Tatiana Stanislavovna[1], Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof.
Smotrova Tatiana Ivanovna[1, 2], Cand. Sci. (Econ.)

[1] Voronezh State Technical University, 84, 20th Anniversary of October str., Voronezh, 394006; e-mail: beinar@mail.ru; narolina@inbox.ru; s-tanik@yandex.ru

[2] Voronezh State University, University Sq., 1, Voronezh, Russia, 394006; e-mail: s-tanik@yandex.ru

Importance: modern digitalization processes are based on the use of a number of digital technologies that serve as transformation tools. One of the most promising of these is the digital twin, a dynamic virtual copy that operates in real time. *Purpose*: to explore various approaches to defining the concept of a digital twin that is applicable to a wide range of users. *Research design:* a study of a number of approaches to the formation of the concept of "digital twin", a single applicable for most users, has been conducted, and subjective factors have been identified that determine the wording of the author's definitions. Based on the study of the author's approaches, another classification of digital twins has been proposed based on the priority object. The paper suggests that the diversity of interpretations of the main concept limits the ability to solve practical problems. The paper identifies the key essential characteristics of digital twins and their basic features, as well as the main areas of implementation of digital solutions based on foreign interpretations of the concept of a digital twin and the prospects for its practical application based on the approaches of leading domestic corporations, research centres, and technology centres. The research is based on general scientific methods, including typology, statistical analysis and synthesis, generalization, and a systematic approach. *Results*: the article explores and compares the priority areas for the development of innovative digital technologies and digital twins, particularly in the global and domestic industrial sectors. The article suggests reasons that limit the full-fledged transition of production to higher technological levels. The article focuses on the organization of production at industrial enterprises.

Keywords: digital twin, digital transformation, digital technologies, industrial sector, virtual model.

References

1. Anisimova N.A. Sovremennye problemy i tendencii cifrovizacii v stroitel'stve i drugih sferah [Modern problems and prospects of digitalization in construction and other scales]. *Cifrovaya i otraslevaya ekonomika*, 2021, no. 1 (22), pp. 51-57. (In Russ.)

2. Bejnar I. A., Narolina T. S., Smotrova T.I. Osobennosti organizacii cifrovogo proizvodstva v RF [Features of the organization of digital production in the Russian Federation]. *Region: sistemy, ehkonomika, upravlenie*, 2024, no. 1 (64), pp. 58-70. (In Russ.)

3. Bejnar I. A., Narolina T. S., Smotrova T.I. Cifrovye aspekty organizacii proizvodstva na predpriyatiyah promyshlennogo sektora [Digital Aspects of Production Organization in Industrial Enterprises]. *Region: sistemy, ehkonomika, upravlenie*, 2023, no. 3 (62), pp. 58-65. (In Russ.)

4. Komrakov A.V., Suhorukov A.I. Koncepciya cifrovogo dvojnika v upravlenii zhiznennym ciklom promyshlennyh ob"ektov [The concept of a digital twin in the management of the life cycle of industrial facilities]. *Setevoj nauchnyj zhurnal «Nauchnaya ideya»*. [Ehlektronnyj resurs]. 2017, no. 3(3). Available at: http://www.nauch-idea.ru/ (accessed: 02.06.2026).

5. Kurganova N.V. Vnedrenie cifrovyh dvojnikov kak odno iz klyuchevyh napravlenij cifrovizacii proizvodstva [The introduction of digital twins as one of the key areas of production digitalization] / N.V. Kurganova, M.A. Filin, D.S. Chernyaev, A.G. Shaklein, D.E. Namiot. *International Journal of Open Information Technologies* [Ehlektronnyj resurs], 2019, vol. 7, no. 5. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-tsifrovyh-dvoynikov-kak-odno-iz-klyuchevyh-napravleniy-tsifrovizatsii-proizvodstva (accessed: 02.06.2026). (In Russ.)

6. Primenenie metodologii urovnej gotovnosti dlya berezhlivoj razrabotki cifrovyh dvojnikov slozhnyh inzhenernyh sistem [Applying the Capability Maturity Model for Lean Digital Twin Development of Complex Engineering Systems] / A. Sartori [i dr.]. *Ehkonomika nauki*, 2020, T. 6, no. 1–2, pp. 62–74. (In Russ.)

7. Cifrovaya transformaciya: effekty i riski v novyh usloviyah [Digital transformation: effects and risks in new conditions] / Ruk. avt. koll. P.B. Rudnik, T.S. Zinina; pod red. I.R. Agamirzyana, L.M. Gohberga, T.S. Zininoj, P.B. Rudnika; Nac. issled. un-t «Vysshaya shkola ekonomiki». Moscow, ISIEZ VShE, 2024. 156 p. (In Russ.)

8. Cifrovoj dvojnik – ehffektivnyj instrument ili eshche odno klishe Industrii 4.0? [Is the digital twin an effective tool or just another cliché of Industry 4.0?] [Ehlektronnyj resurs]: Stat'ya. *Zhurnal «Umnoe proizvodstvo»*, 2021. Available at: https://web.archive.org/web/202103040 (accessed: 02.06.2026). (In Russ.)

9. Cifrovoj dvojnik: ehksperimentiruya s budushchim [Digital Twin: Experimenting with the Future] [Ehlektronnyj resurs]: Novosti. Gosudarstvennaya korporaciya po sodejstviyu razrabotke, proizvodstvu i ehksportu vysokotehnologichnoj promyshlennoj produkcii «Rosteh», 2019. Available at: https://rostec.ru/news/tsifrovoy-dvoynik-eksperimentiruya-s-budushchim/ (accessed: 02.06.2026). (In Russ.)

10. Cifrovye dvojniki v vysokotehnologichnoj promyshlennosti: monografiya [Digital twins in the high-tech industry] / pod red. A.I.Borovkova. SPb., POLITEH-PRESS, 2022, pp. 492. (In Russ.)

11. Shmotin Yu. Cifrovoj dvojnik. Predposylki poyavleniya cifrovogo dvojnika gazoturbinnogo dvigatelya [Digital twin. Prerequisites for the emergence of a digital twin of a gas turbine engine]. *Tramplin k uspehu*, 2019, no. 14, p. 8. (In Russ.)

12. Digital Twins in Construction, Engineering & Architecture [Ehlektronnyj resurs]: Overview. Autodesk, 2022. Available at: https://www.autodesk.com/solutions/digital-twin/architecture-engineering-construction (accessed: 02.06.2026). (In Eng.)

13. Demystifying Digital Twin For Architecture, Engineering, and Construction [Ehlektronnyj resurs]: Electronic book. Autodesk, 2021. Available at: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/digital-twin/architecture-engineering-construction/pdf/adsk-aec-digital-twin-ebook.pdf (accessed: 02.06.2026). (In Eng.)