Специальность ВАК: 5.2.3
УДК 658
EDN: JUXWNU

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ПРЕДПРИЯТИЯ КАК АНАЛИТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРАКТИК И КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Максим Кириллович ИЗМАЙЛОВ, к. э. н., доцент

Доцент, Высшая школа производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия). Адрес: 195251, Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: izmajlov_mk@spbstu.ru

Аннотация

Предметом рассмотрения в статье выступают практические аспекты применения технологии цифровых двойников для решения задач управления современными промышленными предприятиями. Актуальность темы обусловлена усложнением производственных экосистем и недостаточной эффективностью традиционных инструментов поддержки принятия решений в условиях высокой неопределенности и когнитивной перегрузки руководителей. Цель работы заключается в систематизации практического опыта внедрения цифровых двойников в различных отраслях и выявлении их влияния на качество управленческих решений. В качестве методологической основы использован сравнительный анализ реализованных проектов на угольном разрезе «Тугнуйский», Магнитогорском металлургическом комбинате, в штаб-квартире Schneider Electric, испытательном центре Siemens Mobility и разработках компании Tiqum. В результате исследования разработаны три аналитические таблицы, позволяющие сопоставить рассматриваемые решения по техническим характеристикам, достигаемым управленческим эффектам, ограничениям и рискам внедрения. Показано, что цифровые двойники обеспечивают сквозную прозрачность процессов и возможность прогнозирования, однако существующие реализации характеризуются фрагментарностью и слабой ориентацией на стратегическое планирование. На основе выявленных ограничений предложена концепция интегральной платформы, объединяющей операционный, тактический и стратегический контуры управления. Полученные выводы могут быть использованы руководителями предприятий при обосновании инвестиций в цифровую трансформацию, а также исследователями, изучающими проблемы применения технологий искусственного интеллекта в управлении.

Ключевые слова

цифровой двойник предприятия; поддержка принятия управленческих решений; интегральная платформа управления; архитектура цифрового двойника; оценка эффективности; промышленный интернет вещей; управление жизненным циклом; уровни управления

Для цитирования: Измайлов М.К. Цифровой двойник предприятия как аналитический инструмент поддержки управленческих решений: сравнительный анализ практик и концепция интегральной платформы // Ученые записки Международного банковского института. 2026. № 3 (57). С. 118-144. EDN: JUXWNU.

Финансирование: Настоящее исследование не получило внешнего финансирования.

Code of scientific specialty: 5.2.3

UDC 658

EDN: JUXWNU

ENTERPRISE DIGITAL TWIN AS AN ANALYTICAL TOOL FOR MANAGERIAL DECISION SUPPORT: A COMPARATIVE ANALYSIS OF PRACTICES AND THE CONCEPT OF AN INTEGRATED PLATFORM

Maxim Kirillovich IZMAYLOV, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Associate Professor, Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Saint Petersburg, Russia). Address: 195251, Polytechnicheskaya ul., 29, Saint Petersburg, Russia, e-mail: izmajlov_mk@spbstu.ru

Abstract

This article examines the practical aspects of applying digital twin technology to address management challenges in modern industrial enterprises. The relevance of the topic is driven by the increasing complexity of industrial ecosystems and the insufficient effectiveness of traditional decision-support tools under conditions of high uncertainty and cognitive overload among managers. The aim of this work is to systematize practical experience in implementing digital twins across various industries and to identify their impact on the quality of managerial decision-making. The methodological framework is based on a comparative analysis of implemented projects at the Tugnuisky open-pit coal mine, MMK (Magnitogorsk Iron and Steel Works), the headquarters of Schneider Electric, the Siemens Mobility test center, and solutions developed by Tiqum. As a result of this study, three analytical tables

were developed, enabling a comparison of the examined solutions in terms of technical characteristics, achieved managerial effects, implementation constraints, and risks. It is demonstrated that digital twins ensure end-to-end process transparency and forecasting capabilities; however, existing implementations are characterized by fragmentation and a weak focus on strategic planning. Based on the identified limitations, the study proposes a concept for an integrated platform that unifies operational, tactical, and strategic management loops. The conclusions drawn can be utilized by enterprise leaders when justifying investments in digital transformation, as well as by researchers studying the application of artificial intelligence technologies in management.

Keywords

enterprise digital twin; managerial decision support; integrated management platform; digital twin architecture; efficiency assessment; Industrial Internet of Things; lifecycle management; management levels

For citation: Izmaylov M.K. Enterprise digital twin as an analytical tool for managerial decision support: a comparative analysis of practices and the concept of an integrated platform // Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta [Proceedings of the International Banking Institute]. 2026. 3 (57). pp.118-144. (in Russ.). EDN: JUXWNU.

Funding: This research received no external funding.

Введение

Современный этап развития промышленности характеризуется беспрецедентным усложнением производственных систем и усилением взаимосвязей между участниками цепочек создания стоимости. Цифровая трансформация, охватившая все сектора экономики, породила феномен производственных экосистем – сложных сетей взаимозависимых предприятий, поставщиков и сервисных организаций, функционирование которых требует координации на принципиально новом уровне. Традиционные инструменты поддержки решений опираются на периодическую отчетность и реакцию на уже возникшие отклонения. В текущих условиях их эффективность снижается [1]. Руководители предприятий испытывают проблему ограниченной рациональности. Концепция ограниченной рациональности объясняет, почему рост объема данных не ведет автоматически к улучшению решений. «Сбор информации сопряжен с когнитивными и вычислительными издержками». Теория ситуационной

осведомленности дополняет эту картину: качество решения зависит не от количества данных, а от способности системы обеспечить восприятие, понимание и прогнозирование ситуации в динамике. Ограниченная пропускная способность руководителя при работе с разнородными потоками данных становится самостоятельным фактором риска, а не технической деталью. Они не могут обработать потоки разнородных данных, которые поступают в реальном времени из множества источников. Это ведет к когнитивной перегрузке и ухудшению качества решений. Исследователи и практики считают, что технология цифровых двойников предприятия способна ответить на указанные вызовы. В отличие от статичных моделей и систем, фиксирующих события постфактум, цифровой двойник непрерывно синхронизируется с физическим объектом и позволяет моделировать будущие состояния. Фактически он представляет собой динамическую виртуальную копию. Отраслевые исследования показывают, что внедрение цифровых двойников на производстве способно повысить производительность до 60%, ускорить вывод продукции на рынок на 50% и сократить отходы на 20% [2]. Столь значительные эффекты обусловлены тем, что цифровой двойник трансформирует саму природу управления, смещая фокус с констатации фактов на прогнозирование и упреждающее воздействие.

Материалы и методы

Работа построена как сравнительный анализ пяти реализованных проектов. Выборка неслучайная, без претензии на репрезентативность; смещена в сторону успешных кейсов – неудачные внедрения не рассматривались из-за отсутствия публичных данных. Исследовательские вопросы: какие управленческие задачи решают цифровые двойники на разных уровнях? Каковы ограничения существующих реализаций? Как преодолеть фрагментарность и усилить стратегическую составляющую технологии?

Критерии отбора: открытость данных о целях, технологиях и эффектах; отраслевое разнообразие (добыча, металлургия, инфраструктура, транспорт, логистика); разные типы двойников и уровни управления; период реализации – последние пять-семь лет. Различаются пять типов: asset twin (горнотранспортный комплекс), process twin (бизнес-процессы ОЦО), infrastructure twin (инженерные системы здания), system twin (стенд Siemens Mobility), logistics twin (решение

Tiqum). Прямое сравнение между ними некорректно; сопоставление ведется по общей рамке: объект, данные, уровень управления, тип решений, временной горизонт, эффекты, ограничения.

Каждый кейс оценивается по четырем группам параметров. Технические характеристики: объект, интеграция данных, технология, горизонт. Управленческие эффекты: задача, тип решений, количественные и качественные результаты, уровень эффекта. Ограничения и риски: барьеры, вероятность и влияние, способы снижения, воспроизводимость. Источники: каждый параметр привязан к публикации. Использованы материалы конференции «Инвестуголь-2025», ComNews, журналов «Инженерные системы. АВОК Северо-Запад» и «Железные дороги мира», прямой эфир Tiqum; теоретическую рамку задают публикации последних трех лет.

Оценки рисков носят экспертный характер и подлежат верификации. Сравнение разнотипных кейсов ограничено общей рамкой; выводы не универсальны.

Результаты и их обсуждение

Актуальность исследования подтверждается интенсивным развитием научной литературы в этой области. В статье А. Шинка, Т. И и соавторов рассматривается концепция взаимосвязанных цифровых двойников и их роль в преодолении ограниченной рациональности при принятии решений на B2B-платформах [3]. Авторы, опираясь на теорию ситуационной осведомленности Эндсли, показывают, как интеграция данных через цифровые двойники позволяет повысить качество восприятия, понимания и прогнозирования производственных ситуаций участниками экосистемы. Систематический обзор, выполненный Л. Гальвес дель Постиго Гальего и соавторами анализирует современные подходы к интеграции поддержки принятия решений в цифровые двойники производственных процессов. Исследователи приходят к выводу, что поддержка решений должна рассматриваться не как дополнительная функция, а как неотъемлемая часть цифрового двойника, замыкающая контур управления и превращающая информацию в действия [4].

Исследование Р. Воса и коллег раскрывает связь между конфигурацией цифрового двойника и целями его создания. Авторы предложили модель CUP,

которая увязывает характеристики двойника с вовлеченностью пользователей и целевым назначением системы. Они считают, что решения необходимо индивидуализировать под конкретные управленческие задачи [5]. Х. Лян и соавторы описали концепцию гибридных цифровых двойников, объединяющих физические модели с потоками данных. Такой подход подходит для стратегического планирования и управления сложными инфраструктурными объектами на всем протяжении их жизненного цикла [6].

Дополнительные аспекты применения цифровых двойников в управлении раскрыты в работах, смещающих фокус с технических объектов на организационные и человеческие измерения. Ю.К. Белобородова [7] рассматривает региональный уровень: предложенная архитектура двойников адаптирована к неполноте данных и внешним ограничениям, а синтетическое моделирование компенсирует недостающую информацию, обеспечивая точность прогнозов на уровне 15–20 % при сокращении сроков принятия решений на треть. А.О. Бурякова [8] использует цифрового двойника в контроллинге: система показателей от интегральных до атомарных в сочетании с мониторингом процессов в реальном времени (BPM, Process Mining) позволяет выявлять узкие места и обосновывать управленческие воздействия.

Включение человеческого фактора в контур цифрового двойника предложено Е.В. Орловой [9]. Гибридная модельформирует индивидуальные траектории развития работников и снижает риски профессионального выгорания. Это расширяет традиционное понимание двойника как исключительно технической системы.

Эффекты цифровых двойников для управления компанией систематизированы А.Д. Столяровым [10]: предиктивное обслуживание, оптимизация цепочек поставок, моделирование сценариев. Наибольшая отдача достигается при охвате всех этапов жизненного цикла продукта. Маркарян, Л.В. [11] формализует корпоративного двойника как оптимизационную задачу управления ресурсами, что обеспечивает адаптивное управление. При этом, вопросы масштабируемости и интеграции с действующими информационными системами требуют дальнейшей проработки.

Практические результаты внедрения цифровых двойников в промышленности (ПАО «Роснефть», завод «Черкизово», «КАМАЗ») приведены в [12]. Зафиксированы сокращение времени изготовления деталей втрое, снижение удельных затрат на добычу, рост энергоэффективности. Это подтверждают переход от реактивного к предиктивному управлению.

Несмотря на рост количества публикаций, отметим сохранившийся разрыв между технической проработкой цифровых двойников и пониманием их воздействия на процессы принятия решений на всех уровнях - от оперативного до стратегического. Многие работы посвящены либо изолированным промышленным приложениям, либо концептуальным моделям. Вопросы сравнительной эффективности разных подходов и их ограничения в реальных организационных условиях изучены пока недостаточно. Настоящая статья призвана восполнить этот пробел путем анализа практических кейсов внедрения цифровых двойников в различных отраслях с целью выявления их влияния на качество управленческих решений. В качестве методологической основы используется сравнительный анализ реализованных проектов, позволяющий сопоставить технические решения, управленческие эффекты и ограничения рассматриваемых подходов. Целью исследования выступает систематизация практического опыта применения цифровых двойников как инструмента поддержки принятия решений и разработка концептуальных предложений по преодолению выявленных ограничений для повышения стратегической ценности данной технологии.

Для проведения сравнительного анализа было отобрано несколько реализованных проектов, охватывающих различные сектора экономики: добычу полезных ископаемых, металлургию, управление коммерческой недвижимостью, транспортное машиностроение и логистику. Каждый из этих кейсов демонстрирует уникальный взгляд на то, какие именно управленческие задачи можно решить с помощью построения цифрового двойника.

В горнодобывающей отрасли ярким примером служит проект на угольном разрезе «Тугнуйский», реализованный группой компаний «Цифра»[16]. Перед предприятием стояла классическая для этой сферы проблема: необходимость

[16] Цифровой двойник на разрезе «Тугнуйский»: как «Цифра» убрала западное ПО и увеличила производительность на 21%. URL: https://ru-bezh.ru/kompanii-i-ryinki/news/25/11/21/tsifrovoy-dvoynik-na-razreze-tugnuyskiy-kak-tsifra-ubrala-zapadn (дата обращения: 12.02.2026).

координации сложного горнотранспортного комплекса в условиях постоянно меняющейся геометрии карьера. Прежняя система лишь фиксировала рейсы и простои после их завершения. Цифровой двойник позволил управлять процессами в реальном времени. Он собирает телеметрию с экскаваторов и самосвалов, отслеживает состояние дорожной сети и автоматически перераспределяет транспортные потоки. В общую цифровую модель был включен роботизированный буровой станок. Это вывело управление за рамки диспетчеризации и превратило его в высокоточную производственную аналитику, где участие человека в типовых операциях сведено к минимуму[17].

Иной путь выбрали на Магнитогорском металлургическом комбинате. Там оцифровали не производственный цех, а общий центр обслуживания, который ведет бухгалтерский и налоговый учет для всей группы компаний. сложность состояла в том, что структура трудозатрат оставалась непрозрачной, а стоимость бухгалтерских услуг не поддавалась объективной оценке. Для ее решения была применена технология Task Mining, которая в течение трех лет фиксировала действия 490 сотрудников, анализируя 480 тысяч часов их работы и оцифровывая 1800 операций. Созданный «цифровой двойник ОЦО» позволил увидеть не только формальные результаты труда, но и скрытые издержки: ожидание ответа информационных систем, время на совещания, непродуктивные переписки. Это дало руководству инструмент для точного нормирования труда и принятия решений о роботизации наиболее рутинных процессов[18].

Третий показательный кейс относится к сфере управления инфраструктурными объектами. Компания Schneider Electric совместно с EcoDomus создала цифрового двойника своей московской штаб-квартиры. В отличие от промышленных примеров, здесь акцент сделан на интеграцию разнородных систем на протяжении всего жизненного цикла здания. BIM-модель, система управления инженерными системами и эксплуатационная документация были объединены в единое информационное пространство на базе IoT-

[17] Цифровой двойник разреза «Тугнуйский»: от пилота СУЭК к готовой модели для отрасли. URL: https://ru-bezh.ru/nikolay-godunov/63921-tsifrovoy-dvoynik-razreza-tugnuyskiy-ot-pilota-suek-k-gotovoy-mo (дата обращения: 12.02.2026).

[18] Уральские металлурги рассказали айтишникам, как избавиться от лишних затрат на бухгалтерию. URL: https://newdaynews.ru/chelyabinsk/848641.html (дата обращения: 12.02.2026).

платформы[19]. Управленческая ценность этого решения для службы эксплуатации заключается в переходе от реактивного обслуживания (устранение поломок) к проактивному и высокоскоростному. При возникновении нештатной ситуации специалист мгновенно получает доступ к трехмерной модели, технической документации и истории обслуживания конкретного узла, что радикально сокращает время принятия решений и восстановления работоспособности систем.

Siemens Mobility построила в Вене испытательный центр для транспортного машиностроения. Его цифровой двойник воспроизводит железнодорожную инфраструктуру Австрии. Проект направлен на снижение рисков и ускорение вывода на рынок новых систем управления движением. Одновременное тестирование до ста проектов на виртуальных машинах не затрагивает реальный перевозочный процесс. Это помогает принимать решения о внедрении инноваций и сокращать расходы на натурные испытания[20] .

Компания Tiqum разработала для промышленного предприятия решение логистических и складских задач. Оно опирается на сценарии роботизации и цифровые инструменты с алгоритмами машинного обучения для контроля качества и имитационным моделированием складских операций[21]. Такой подход позволяет менеджменту предприятия оценить потенциал оптимизации, сократить пробеги техники и ускорить комплектацию заказов еще до этапа физического внедрения изменений, снижая инвестиционные риски[22].

Дополнительно следует отметить работы, в которых рассматриваются смежные аспекты применения цифровых технологий в управлении. Палкина Е.С., Сафронова В.П. и Чернов О.А. предлагают методические положения по оценке экономического эффекта от внедрения цифровых решений в транспортной логистике, включая использование беспилотных средств. Как отмечают авторы, «внедрение инновационных технологий в управление цепями поставок позволит

[19] Компания Schneider Electric, мировой лидер в предоставлении цифровых решений в области управления электроэнергией и автоматизации, завершила пилотный проект по созданию виртуального близнеца своей штаб-квартиры в Москве. URL: http://www.mobilecomm.ru/u-ofisa-tsifrovoj-dvojnik (дата обращения: 12.02.2026)

[20] Siemens строит в Вене центр для тестирования систем ЖАТ. URL: https://zdmira.com/news/siemens-stroit-v-vene-tsentr-dlya-testirovaniya-sistem-zhat (дата обращения: 12.02.2026).

[21] Tiqum разработала сценарии роботизации для промышленного предприятия. URL: https://companies.rbc.ru/news/rr16BB7AZT/tiqum-razrabotala-stsenarii-robotizatsii-dlya-promyishlennogo-predpriyatiya/ (дата обращения: 12.02.2026).

[22] Там же.

существенно сократить транспортно-логистические расходы в себестоимости продукции» [13]. Белинская И.В. и Кутепова П.С. исследуют роль сквозных цифровых технологий в трансформации промышленных экосистем и их связь с целями устойчивого развития. Они указывают, что «в ближайшие несколько десятилетий в России ожидается более активное использование технологий «цифрового двойника» и рост в металлургии и горнодобывающей промышленности» [14]. Ключников И.К. и Ключников О.И. рассматривают социотехнические и институциональные аспекты алгоритмического принятия решений, акцентируя внимание на необходимости легитимации и институционализации алгоритмических систем. По их мнению, «широкое использование алгоритмических методов принятия решений тесно связано с институционализацией алгоритмов» [15].

Стратегический ракурс задает О. Акарсу: «Модель позволяет организациям не только анализировать текущую ситуацию, но и разрабатывать проактивные стратегии, предвосхищая неопределенные сценарии будущего» [16]. Архитектурный контрапункт – паттерн EA Blueprint Ф. Эдриси и др., служащий «архитектурным ориентиром для разработки DTO» [17]. Обе работы концептуальны.

М. Слот и др. проверяют research-by-design на двух кейсах SME: метод «позволяет компаниям создавать решение, предоставляющее нужную информацию в нужный момент и в нужной перспективе» [18]. А. Баниаи Тот переносит акцент в тактический контур – его метод «способен определять оптимальных поставщиков для текущих потребностей в компонентах в реальном времени» [19]. Эмпирика ограничена, веса AHP субъективны.

Э. Пальмитесса и др. интегрируют обслуживание и энергетику под эгидой Asset Management [20]; Л.В. Шабалтина и соавторы соединяют теорию ограничений с оценкой цифровой зрелости – «динамическая модель управления, интегрирующая принципы Теории ограничений и методологию оценки цифровой зрелости» [21]. Количественных эффектов нет ни там, ни здесь.

Замыкают обзор три работы. Д.Д. Яковлева строит фреймовую СППР для атомной отрасли: цифровые двойники «предоставляют агрегированные данные, необходимые для формализации альтернативных сценариев и оптимизации

решений» [22]. Е.С. Подборнова опирается на вторичные данные и кейсы КАМАЗ, Aker BP, KLM [23]. В.В. Чуваев предлагает архитектуру ИЦД для ИТ-услуг [24]. Прогнозные метрики не верифицированы, сервисный сектор остается наименее изученным. Указанные исследования дополняют представленный обзор, акцентируя экономические, экологические и управленческие аспекты внедрения цифровых технологий.

Сравнительная оценка решений

Для систематизации информации о представленных кейсах целесообразно провести их сравнение по ряду критериев. В рамках исследования разработана серия сравнительных таблиц, позволяющих оценить проекты с технической, управленческой и экономической точек зрения, систематизированных в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ по техническим характеристикам и масштабу внедрения

Параметр сравнения	Тугнуйский (ГК «Цифра»)	ММК (ОЦО)	Schneider Electric
Тип двойника	asset twin	process twin	infrastructure twin
Объект моделирования	Горнотранспортный комплекс	Бизнес-процессы ОЦО	Инженерные системы здания
Тип интеграции данных	Телеметрия, GPS, геометрия карьера, АСУ ТП	Данные рабочих станций (клики, переписка, приложения)	BIM-модель, BMS, IoT-платформа, документация
Основная технология	Промышленный IoT, компьютерное зрение, роботизация	Task Mining, анализ больших данных (300 Гб)	Информационное моделирование, EcoStruxure Building
Временной горизонт	Режим реального времени	Ретроспективный анализ за 3 года, затем RPA	Режим реального времени
Источник	Цифровой двойник на разрезе «Тугнуйский»: как «Цифра» убрала западное ПО и увеличила производительность на 21%[23].	«ММК-Учетный центр» создал «Цифровой двойник ОЦО»[24].	Schneider Electric создала цифровой двойник собственного офиса в Москве[25].

Источник: составлено автором.

[23] Цифровой двойник на разрезе «Тугнуйский»: как «Цифра» убрала западное ПО и увеличила производительность на 21%. https://ru-bezh.ru/kompanii-i-ryinki/news/25/11/21/tsifrovoy-dvoynik-na-razreze-tugnuyskiy-kak-tsifra-ubrala-zapadn (дата обращения 15.09.2026).

[24] «ММК-Учетный центр» создал «Цифровой двойник ОЦО». URL: https://ssc-pro.ru/novosti/mmk-uchetnyy-tsentr-sozdal-tsifrovoy-dvoynik-otso/ (дата обращения 15.09.2026).

[25]Schneider Electric создала цифровой двойник собственного офиса в Москве. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Schneider_Electric_Россия_%28Шнейдер_Электрик%29_%28EcoDomus_Цифровой_Двойник%29 (дата обращения 15.09.2026).

Полученные данные позволяют сделать ряд существенных выводов о том, как техническая архитектура цифрового двойника предопределяет его роль в системе управления предприятием. Прежде всего обращает на себя внимание принципиальное различие в объектах моделирования. Если в проекте на разрезе «Тугнуйский» объектом выступают материальные активы и физические процессы перемещения горной массы, то в кейсе Магнитогорского металлургического комбината цифровой двойник строится вокруг нематериальной сущности – действий сотрудников и потоков операций в учетных системах. Это различие носит фундаментальный характер, поскольку технологии сбора данных для физических объектов и для человеческой деятельности требуют совершенно разных подходов к обеспечению достоверности. Телеметрия с экскаватора и бурового станка поступает автоматически, ее достоверность не вызывает сомнений. Данные Task Mining фиксируют клики и переписку сотрудников, поэтому их необходимо осторожно интерпретировать и очищать от контекстных шумов. Различаются и подходы к интеграции. В добывающей отрасли двойник объединяет потоки от систем автоматизации, GPS-трекеров и геологических моделей, формируя динамическую картину производства. В проекте Schneider Electric статичная BIM-модель здания связана с динамическими данными инженерных систем. Это дает не только текущее состояние, но и историю, и контекст эксплуатации каждого элемента инфраструктуры. Временные горизонты также не совпадают. Горное производство требует режима, близкого к реальному времени, поскольку задержка диспетчерских решений ведет к простоям дорогостоящей техники. Для офисного центра скорость реакции может быть ниже, зато возрастает роль полноты данных. В проекте ОЦО временной горизонт смещен в прошлое. Анализ трехлетнего периода выявляет закономерности и узкие места, после чего принимаются решения о реинжиниринге и роботизации. Выбор технологической платформы и объекта моделирования определяют прежде всего управленческие задачи и характер поддерживаемых решений.

Под управленческим эффектом в настоящей работе понимается измеримое или наблюдаемое изменение параметров управленческого решения – скорости, обоснованности, точности, стоимости, рискованности – и/или результатов деятельности предприятия, обусловленное применением цифрового двойника.

Критериями оценки выступают: сокращение времени принятия решения, рост точности прогноза, повышение прозрачности процессов, снижение издержек, уменьшение рисков, стратегическая ценность. Эффекты различаются по уровню управления: операционные проявляются в режиме реального времени, тактические – в среднесрочном горизонте, стратегические – в долгосрочной перспективе.

Данные таблицы 2 раскрывают управленческие эффекты, достигнутые при внедрении. Целевые показатели эффективности напрямую связаны со спецификой решаемых задач.

Таблица 2 - Цели внедрения и управленческие эффекты проектов

Параметр	**Тугнуйский**	**ММК (ОЦО)**	**Siemens Mobility (Вена)**
Основная задача	Оптимизация логистики и производительности техники	Прозрачность трудозатрат, оптимизация численности	Снижение рисков, ускорение сертификации
Принимаемые решения	Диспетчерское управление, прогнозирование отказов	Нормирование труда, выбор процессов для роботизации	Планирование разработок, валидация без остановки движения
Количественные результаты	Рост производительности бурового станка на 21%	Оцифровано 1800 операций; 480 тыс. часов; 300 Гб данных; 490 сотрудников; ~200 услуг	Инвестиции 25 млн евро; площадь 2500 м²; до 100 проектов; более 1000 виртуальных машин
Тип эффекта	Операционный, тактический	Тактический, организационный	Стратегический, операционный
Качественный результат	Переход от управления по факту к упреждающему	Объективная модель стоимости услуг, прозрачность	Моделирование ETCS уровня 2 без влияния на сеть
Источник	Цифровой двойник на разрезе «Тугнуйский»: как «Цифра» убрала западное ПО и увеличила производительность на 21%[26].	«ММК-УЧЕТНЫЙ ЦЕНТР» СОЗДАЛ «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ОЦО»[27].	Siemens строит в Вене центр для тестирования систем ЖАТ[28]

Источник: составлено автором.

[26] Цифровой двойник на разрезе «Тугнуйский»: как «Цифра» убрала западное ПО и увеличила производительность на 21%. URL: https://ru-bezh.ru/kompanii-i-ryinki/news/25/11/21/tsifrovoy-dvoynik-na-razreze-tugnuyskiy-kak-tsifra-ubrala-zapadn (дата обращения 15.09.2026)

[27] «ММК-УЧЕТНЫЙ ЦЕНТР» СОЗДАЛ «ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ОЦО». URL: https://ssc-pro.ru/novosti/mmk-uchetnyy-tsentr-sozdal-tsifrovoy-dvoynik-otso/ (дата обращения 15.09.2026)

[28] Siemens строит в Вене центр для тестирования систем ЖАТ. URL: https://zdmira.com/news/siemens-stroit-v-vene-tsentr-dlya-testirovaniya-sistem-zhat (дата обращения: 12.02.2026).

Внедрение цифровых двойников дает разные управленческие эффекты, и их характер зависит от отраслевой специфики. На разрезе «Тугнуйский» главный итог – смена модели управления с реактивной на упреждающую. Производительность бурового станка выросла на 21%. Прирост получен за счет исключения простоев и оптимизации траекторий, а не интенсификации труда. Точное прогнозирование и автоматизация позволили руководителям предотвращать неэффективную работу еще на этапе планирования сменных заданий, а не фиксировать ее постфактум.

В проекте ММК эффект иной. Оцифровка 1,8 тыс. операций и анализ 480 тыс. часов работы впервые дали объективную картину себестоимости бухгалтерских услуг. Раньше оценки были приблизительными или опирались на субъективные ощущения руководителей подразделений. Теперь решения о нормировании труда и выборе процессов для роботизации принимаются на основе точных данных. Отдельно стоит выделить прозрачность процессов. Этот результат сложно измерить в деньгах, но он закладывает фундамент для долгосрочных улучшений.

Испытательный центр Siemens Mobility показывает эффект, связанный со снижением рисков и ускорением инноваций. Одновременное тестирование до ста проектов на виртуальных машинах не затрагивает работу реальной сети. Менеджмент получает безопасную среду для экспериментов и оценивает последствия изменений до их реализации на инфраструктуре. Моделирование внедрения систем уровня ETCS 2 без влияния на перевозки открывает дорогу решениям, которые ранее отвергались из-за высоких рисков. Количественные показатели вроде процентов роста или часов проанализированной работы отражают лишь часть картины. За ними стоят сдвиги в качестве решений и в культуре управления, где опора на данные и прогнозы вытесняет интуицию и прошлый опыт. Ограничения и риски, представленные в таблице 3, сформулированы на основе контент-анализа публикаций о внедрении цифровых двойников, проектной документации и экспертной интерпретации автора. Каждый риск оценен по вероятности и влиянию; указаны способы снижения. Для верификации оценок проведены полуструктурированные интервью с пятью экспертами – руководителями проектов цифровизации и консультантами в области промышленной автоматизации. Выборка целевая, неслучайная; вопросы касались

барьеров внедрения, качества данных, организационного сопротивления и кибербезопасности.

Таблица 3 – Ограничения, сложность внедрения и возможность тиражирования

Признак	Тугнуйский	Schneider Electric	Tiqum
Ключевые ограничения	Зависимость от качества телеметрии и покрытия сети; интеграция разнородного парка техники	Наличие качественной BIM-модели; интеграция устаревшего оборудования	Адаптация под уникальные процессы; культура достоверности данных
Основные риски	Кибербезопасность; сопротивление при роботизации	Неполнота данных; сложность доказательства эффективности на ранних этапах	Риск имитации активности; кадровый дефицит
Вероятность / влияние	Средняя / высокое	Средняя / среднее	Высокая / среднее
Способ снижения	Резервирование каналов, обучение персонала	Поэтапная верификация BIM, пилотные зоны	Пилот с измеримыми KPI, вовлечение операторов
Воспроизводимость	Высокая для горнодобычи	Средняя, требует BIM и квалификации	Высокая для типовых складских процессов
Источник	Цифровой двойник на разрезе «Тугнуйский»: как «Цифра» убрала западное ПО и увеличила производительность на 21%[29].	Schneider Electric создала цифровой двойник собственного офиса в Москве[30].	Tiqum разработала сценарии роботизации для промышленного предприятия[31].

Источник: составлено автором.

Цифровые двойники требуют зрелой инфраструктуры и подготовленного персонала. На разрезе «Тугнуйский» успех определяют качество телеметрии и устойчивость покрытия сети в глубоком карьере. Поддержание парка датчиков и бесперебойной связи требует постоянных организационных усилий и затрат,

[29] Цифровой двойник на разрезе «Тугнуйский»: как «Цифра» убрала западное ПО и увеличила производительность на 21%. URL: https://ru-bezh.ru/kompanii-i-ryinki/news/25/11/21/tsifrovoy-dvoynik-na-razreze-tugnuyskiy-kak-tsifra-ubrala-zapadn (дата обращения 15.09.2026).

[30]Schneider Electric создала цифровой двойник собственного офиса в Москве. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Schneider_Electric_Россия_%28Шнейдер_Электрик%29_%28EcoDomus_Цифровой_Двойник%29 (дата обращения 15.09.2026)

[31] Tiqum разработала сценарии роботизации для промышленного предприятия. URL: https://companies.rbc.ru/news/rr16BB7AZT/tiqum-razrabotala-stsenarii-robotizatsii-dlya-promyishlennogo-predpriyatiya/ (дата обращения: 12.02.2026).

которые не всегда закладывают на этапе планирования. Серьезным барьером для масштабирования становится также необходимость интегрировать разнородную технику разных производителей и лет выпуска. В проекте Schneider Electric критична качественная BIM-модель, созданная при строительстве. Для большинства зданий, возведенных до распространения информационного моделирования, полноценный цифровой двойник либо недостижим, либо требует столь дорогого обратного инжиниринга, что экономическая целесообразность проекта исчезает. Решение Tiqum ограничено уникальностью процессов конкретного заказчика и культурой работы с данными. Если на предприятии не налажен первичный учет и не обеспечена достоверность информации, двойник лишь автоматизирует существующий хаос.

Среди основных рисков выделяется кибербезопасность промышленных систем. Успешная атака на управление способна привести не только к финансовым потерям, но и к техногенным катастрофам. Сопротивление персонала, особенно в проектах с анализом действий сотрудников, также требует внимания. В кейсе ММК сбор данных о работе почти пятисот человек неизбежно поднимает вопросы этики и конфиденциальности, заставляя искать баланс между эффективностью и уважением к личному пространству. Для решения Tiqum характерен риск имитации активности, когда внедрение цифровых инструментов превращается в самоцель, а действительные улучшения процессов откладываются или не происходят. Воспроизводимость решений зависит от отраслевого контекста. Для типовых процессов в добыче и на складах она высока. Для управления зданиями она оказывается средней, поскольку определяющую роль здесь играют квалификация службы эксплуатации и наличие исходной цифровой модели. Тиражирование успешного опыта требует учета технических, организационных и кадровых аспектов готовности предприятия к внедрению цифровых двойников.

Анализ преимуществ и недостатков рассмотренных подходов

Проведенное сопоставление позволяет сделать ряд обобщений. К числу неоспоримых преимуществ цифровых двойников следует отнести их способность обеспечивать сквозную прозрачность процессов. На разрезе «Тугнуйский» это видимость движения каждого куска породы от забоя до фабрики, в ММК - понимание структуры каждой минуты рабочего времени бухгалтера, в Schneider

Electric – связь между трехмерной моделью и паспортом конкретного насоса. Именно эта прозрачность создает основу для принятия по-настоящему обоснованных решений вместо интуитивных или основанных на устаревших отчетах.

Другим важным преимуществом является возможность прогнозирования. В то время как традиционные системы автоматизации лишь констатируют факт отклонения, цифровой двойник, накапливая данные, позволяет моделировать будущие состояния. Роботизированный буровой станок не просто работает без усталости, он предсказуемо и точно попадает в заданные координаты, что повышает общую эффективность работ. Прогнозные модели на основе данных двойника позволяют перейти к обслуживанию по фактическому состоянию и избежать неожиданных отказов оборудования.

Рассмотренные примеры обнаруживают и системные ограничения, мешающие считать эту технологию универсальным инструментом управления. Прежде всего, решения фрагментарны. Они охватывают отдельные участки, но не складываются в общую картину. На «Тугнуйском» улучшена работа горнотранспортного комплекса, однако он остается лишь частью цепочки создания ценности. Двойник ММК затрагивает бухгалтерские процессы, но не связан напрямую с производством. Единая модель, объединяющая разрозненные двойники, пока не создана.

Кроме того, все решения сильно зависят от качества исходных данных. Специалисты Schneider Electric подчеркивают, что основой для управления зданием служит полноценная BIM-модель. Если она содержит ошибки или атрибуты данных неполны, ценность двойника при принятии решений снижается. В промышленности некорректные показания датчиков и нестабильная связь делают цифровую модель бесполезной или даже вредной, поскольку провоцируют ошибочные решения. Также, наблюдается определенный крен в сторону операционных и тактических задач в ущерб стратегическому планированию. Большинство кейсов описывают, как двойник помог лучше загрузить самосвал или быстрее найти неисправность в кондиционере. Безусловно, это важные улучшения. Но потенциал использования двойников для моделирования стратегических сценариев, таких как слияния и поглощения, выход на новые рынки или коренная

реконфигурация производственной цепочки, раскрыт в этих примерах лишь фрагментарно. Проект Siemens Mobility приближается к этой цели, моделируя внедрение новых систем на целой сети железных дорог, но и он пока сконцентрирован на технической стороне вопроса.

На основе выявленных ограничений представляется возможным предложить концепцию развития технологии цифровых двойников, направленную на расширение их управленческого потенциала. Суть предложения заключается в переходе от создания разрозненных «лоскутных» моделей к построению интегральной платформы, объединяющей в себе три контура управления.

Интегральная платформа управления на базе цифровых двойников предприятия включает шесть слоев. Первый – сбор данных: IIoT, MES, ERP, CRM, BIM, BMS, GPS, Task Mining, внешние источники. Второй – интеграция и семантика: data lake, ETL/ELT, OPC UA, MQTT, ISO 23247, Asset Administration Shell, digital thread, master data. Третий – модели: физические, имитационные, ML, предиктивные, оптимизационные, финансовые. Четвертый – контуры управления: операционный (real-time monitoring, диспетчеризация, предиктивное обслуживание), тактический (планирование ресурсов, оптимизация процессов, роботизация, what-if для менеджеров), стратегический (сценарное моделирование, интеграция с финансовыми и рыночными моделями, оценка инвестиций, M&A, реконфигурация цепочек). Пятый – интерфейсы: dashboards, digital twin cockpit, сценарные симуляторы, API. Шестой – управление и безопасность: data governance, кибербезопасность, роли, аудит, этика.

Механизмы реализации. Поток данных движется от операционного контура к стратегическому через агрегацию и обезличивание. Обратная связь идет от стратегических решений к тактическим планам и операционным параметрам. Валидация данных обеспечивается процедурами V&V и распределенным реестром для критичных параметров. Сценарный движок опирается на Монте-Карло, системную динамику и агентное моделирование. Интеграция с финансовыми моделями охватывает NPV, ROI, чувствительность, валютные и рыночные сценарии.

Критерии эффективности - Экономические: NPV, ROI, срок окупаемости, TCO. Операционные: OEE, простои, время цикла, точность прогноза.

Управленческие: время принятия решения, индекс прозрачности, число проработанных сценариев, снижение риска. Стратегические: соответствие стратегии, обоснованность инвестиций, скорость реакции на рынок.

Дифференциация по отрасли: добыча, металлургия, инфраструктура, транспорт, логистика. По размеру: малые, средние, крупные. По цифровой зрелости: базовая, развивающаяся, продвинутая. По типу двойника: asset, process, infrastructure, system, logistics. По уровню управления: только операционный, тактический, стратегический.

Дорожная карта внедрения. Аудит данных и процессов; пилот операционного контура; тактический контур и интеграция; стратегический контур; масштабирование и тиражирование.

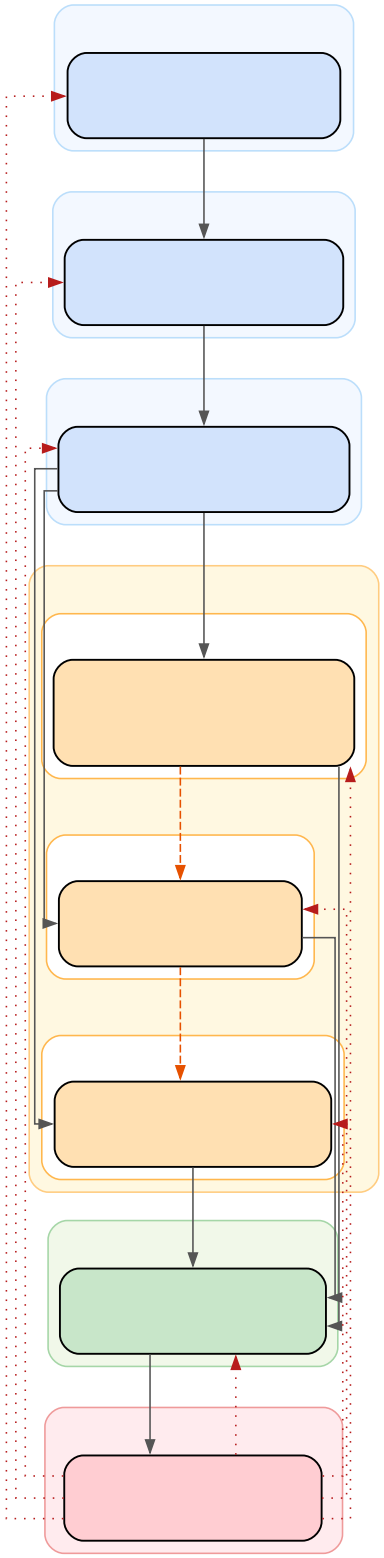


Рисунок 1 – Схема архитектуры

Источник: составлено автором.

Реализация этой концепции требует преодолеть методологические и технологические барьеры. Во-первых, требуется стандартизация протоколов

обмена данными между разнородными двойниками внутри одной корпорации. Во-вторых, необходимо развитие инструментов симуляционного моделирования, способных учитывать не только технические, но и поведенческие, и рыночные факторы. В-третьих, принципиально важным становится вопрос доверия к данным и их непротиворечивости. Стратегическое решение, принятое на основе некорректных данных с производственной площадки, может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому в предлагаемой концепции особое место должно занять развитие систем валидации и верификации входной информации, возможно, с использованием технологий распределенного реестра для обеспечения неизменности критически важных параметров.

Подводя итог сравнительному анализу практических кейсов внедрения цифровых двойников, можно утверждать, что эта технология уже сегодня является действенным инструментом повышения эффективности управленческих решений на операционном и тактическом уровнях. Примеры угольного разреза «Тугнуйский», Магнитогорского металлургического комбината, офисного центра Schneider Electric, испытательного центра Siemens и разработок компании Tiqum демонстрируют впечатляющие результаты в области оптимизации логистики, повышения прозрачности трудозатрат, ускорения обслуживания инфраструктуры и снижения инновационных рисков. Каждый из этих проектов по-своему уникален и отражает отраслевую специфику решаемых управленческих задач. Исследование показало, что современные реализации цифровых двойников фрагментарны, сильно зависят от качества исходных данных и почти не ориентированы на долгосрочное стратегическое планирование. Концепция интегральной платформы, объединяющей операционный, тактический и стратегический контуры управления, позволяет преодолеть эти ограничения. Она превращает двойник из инструмента тактической оптимизации в основу для принятия ключевых решений на длительную перспективу. Будущие исследования должны сосредоточиться на методах интеграции разнородных данных и разработке экономико-математических моделей, встраиваемых в контур двойников для стратегического прогнозирования.

Заключение

Анализ практических кейсов внедрения цифровых двойников на предприятиях разных отраслей позволил сделать несколько обобщений. Исходное

предположение о том, что цифровой двойник способен выступать не просто средством автоматизации сбора данных, а полноценным инструментом поддержки управленческих решений, трансформирующим саму природу управления, подтвердилось.

Исследование выявило, что универсальной модели цифрового двойника, пригодной для любых управленческих задач, не существует. Техническая архитектура, объект моделирования и временной горизонт определяются спецификой проблем и отраслевым контекстом. В добывающей промышленности двойник нацелен на управление материальными потоками в реальном времени и требует объединения данных промышленного интернета вещей. В управлении вспомогательными бизнес-процессами, как в кейсе ММК, акцент смещается на анализ человеческой деятельности, что предъявляет особые требования к достоверности и этике собираемой информации. При управлении инфраструктурными объектами на первый план выходит связность статических моделей и динамических данных на всех этапах жизненного цикла. Многообразие конфигураций говорит о зрелости технологии и ее способности адаптироваться к широкому кругу задач, однако оно же заставляет тщательнее подходить к предпроектному обследованию и постановке целей.

Сопоставление управленческих эффектов показало, что ценность двойника не сводится к количественным показателям роста производительности или снижения издержек. Для долгосрочной эффективности более значимым, по всей видимости, стало качественное изменение информационной среды, в которой принимаются решения. Переход от реактивного управления к упреждающему, появление прозрачности вместо экспертных оценок и субъективных суждений, возможность безопасного экспериментирования в виртуальной среде. Эти сдвиги формируют основу для управленческой культуры, опирающейся на данные и прогнозирование, а не на интуицию и прошлый опыт.

Список источников

1. **Измайлов М., Кобзев В., Скворцов С., Капо Д.** Цифровая трансформация в российской промышленности: ключевые аспекты, перспективы и тенденции // Труды международной конференции ACM. 2020. С. 3446451. doi: 10.1145/3446434.3446451.

2. **Глобенко С.А., Добрянский Р.Ф.** Цифровой двойник в нефтегазовой отрасли: шаг к оптимизации или иллюзия прогресса? // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2025. № 10-2 (109). С. 123–127.
3. **Schink A., Gutmann T., Brenk S.** Transforming B2B platforms through interconnected digital twins: Enhancing situation awareness for decision-making // Technovation. 2026. Vol. 149. Art. 103368. doi: 10.1016/j.technovation.2025.103368.
4. **Gálvez del Postigo Gallego L., Lazarova-Molnar S., del Real Torres A., Acevedo Galicia L.E.** Decision support within digital twins in manufacturing ecosystems: A review // IET Collaborative Intelligent Manufacturing. 2025. Vol. 7, No. 1. Art. e70041. doi: 10.1049/cim2.70041.
5. **Vos R.A.H., Schepers J.J.L., Raassens N., Langerak F.** CUP model: Purpose-driven digital twin configuration through enhanced user engagement // Journal of Business Research. 2026. Vol. 203. Art. 115809. doi: 10.1016/j.jbusres.2025.115809.
6. **Liang H., Moya B., Seah E. et al.** Harnessing hybrid digital twinning for decision-support in smart infrastructures // Data-Centric Engineering. 2025. Vol. 6. Art. e43. doi: 10.1017/dce.2025.10015.
7. **Белобородова Ю.К.** Система цифровых двойников как инструмент оптимизации управленческих решений в условиях ДНР // Вестник Академии знаний. 2025. № 4 (69). С. 728–735. EDN VUZNXQ.
8. **Бурякова А.О.** Цифровой двойник организации как инструмент контроллинга // Финансовый менеджмент. 2025. № 3. С. 247–254. EDN PETQEA.
9. **Орлова Е.В.** Проектирование цифрового двойника работника предприятия // Онтология проектирования. 2025. Т. 15, № 4 (58). С. 471–485. doi: 10.18287/2223-9537-2025-15-4-471-485. EDN TIPQEL.
10. **Столяров А.Д., Гордеев В.В., Абрамов В.И.** Цифровые двойники как инструменты повышения эффективности управления компанией // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. № 4 (52). С. 5–16. doi: 10.21685/2227-8486-2024-4-1. EDN YMRZCN.
11. **Маркарян Л.В., Бегичев Е.А.** Разработка цифрового двойника производственной линии для моделирования и прогнозирования отказов оборудования промышленного предприятия // Современные наукоемкие технологии. 2026. № 3. С. 46–54. doi: 10.17513/snt.40704. EDN UQLQXL.
12. **Романова Е.Е., Гатауллина Е.В., Пелымская И.С.** Оценка внедрения цифрового двойника в производственный процесс // Весенние дни науки: сборник докладов международной конференции студентов и молодых ученых,

Екатеринбург, 20–22 апреля 2023 года. Екатеринбург: ООО Издательский Дом «Ажур», 2023. С. 538–541. EDN EDWJSP.

13. **Палкина Е.С., Сафронова В.П., Чернов О.А.** Экономическое обоснование внедрения цифровых технологий в транспортной логистике // Ученые записки Международного банковского института. 2025. № 2 (52). С. 114–133.
14. **Белинская И.В., Кутепова П.С.** Исследование внедрения сквозных цифровых технологий в промышленные экосистемы // Ученые записки Международного банковского института. 2025. № 3 (53). С. 9–26.
15. **Ключников И.К., Ключников О.И.** Социотехнические и институциональные аспекты алгоритмического процесса принятия решения // Ученые записки Международного банковского института. 2026. № 1 (55). С. 145–170.
16. **Akarsu O.** Design and Data-Driven Strategic Management Model Based on Digital Twin // Journal of the Human and Social Science Researches. 2025. Vol. 14, No. 4. P. 89–122. doi: 10.15869/itobiad.1719467. EDN AXCJXL.
17. **Edrisi F., Perez-Palacin D., Caporuscio M., Giussani S.** Developing and Evolving a Digital Twin of the Organization // IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 45475–45494. doi: 10.1109/access.2024.3381778. EDN UXWFNP.
18. **Slot M., Damgrave R., Lutters E.** A structured digital twinning approach to improve decision-making in manufacturing SMEs // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2024. Vol. 55. P. 359–374. doi: 10.1016/j.cirpj.2024.10.010. EDN QTSWPM.
19. **Bányai Tóth Á.** Real-time supplier selection using digital twin technology: an Analytic Hierarchy Process-based optimization approach // Advanced Logistic Systems - Theory and Practice. 2024. Vol. 18, No. 2. P. 97–107. doi: 10.32971/als.2024.021. EDN RIUXDF.
20. **Palmitessa E., Premoli A., Roda I., Macchi M.** Integrating maintenance and energy problems through a Digital Twin-based decision support framework under the guidance of Asset Management // IFAC-PapersOnLine. 2024. Vol. 58, No. 8. P. 7–12. doi: 10.1016/j.ifacol.2024.08.042. EDN YPRYPU.
21. **Шабалтина Л.В., Масленников В.В., Калинина И.А.** Цифровой двойник как динамическая модель управления: от ограничений к цифровой зрелости // Информатизация в цифровой экономике. 2025. Т. 6, № 4. С. 565–584. doi: 10.18334/ide.6.4.124536. EDN RIUBBU.
22. **Яковлева Д.Д.** Применение цифрового двойника в системе поддержки принятия решений интегрированной компании атомной промышленности // Лидерство и менеджмент. 2025. Т. 12, № 1. С. 61–78. doi: 10.18334/lim.12.1.121992. EDN EKOKDJ.

23. **Подборнова Е.С.** Влияние цифровых двойников на оптимизацию бизнес-процессов промышленных предприятий // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2024. Т. 15, № 4. С. 177–186. doi: 10.18287/2542-0461-2024-15-4-177-186. EDN TFTRHI.
24. **Чуваев В.В.** Интеллектуальный цифровой двойник как инструмент цифровой трансформации сервисных компаний // Прогрессивная экономика. 2026. № 2. С. 449–466. doi: 10.54861/27131211_2026_2_449. EDN VYYZRQ.

References

1. **Izmaylov M., Kobzev V., Skvortsov S., Kapo D.** [Digital transformation in the Russian industry: key aspects, prospects and trends]. Trudy mezhdunarodnoy konferentsii ACM, 2020, art. 3446451. doi: 10.1145/3446434.3446451. (In Russ.)
2. **Globenko S.A., Dobryanskiy R.F.** [Digital twin in the oil and gas industry: a step towards optimization or an illusion of progress?]. Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 2025, no. 10-2(109), pp. 123–127. (In Russ.)
3. **Schink A., Gutmann T., Brenk S.** Transforming B2B platforms through interconnected digital twins: Enhancing situation awareness for decision-making. *Technovation*, 2026, vol. 149, art. 103368. doi: 10.1016/j.technovation.2025.103368.
4. **Gálvez del Postigo Gallego L., Lazarova-Molnar S., del Real Torres A., Acevedo Galicia L.E.** Decision support within digital twins in manufacturing ecosystems: A review. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 2025, vol. 7, no. 1, art. e70041. doi: 10.1049/cim2.70041.
5. **Vos R.A.H., Schepers J.J.L., Raassens N., Langerak F.** CUP model: Purpose-driven digital twin configuration through enhanced user engagement. *Journal of Business Research*, 2026, vol. 203, art. 115809. doi: 10.1016/j.jbusres.2025.115809.
6. **Liang H., Moya B., Seah E. et al.** Harnessing hybrid digital twinning for decision-support in smart infrastructures. *Data-Centric Engineering*, 2025, vol. 6, art. e43. doi: 10.1017/dce.2025.10015.
7. **Beloborodova Yu.K.** [System of digital twins as a tool for optimizing management decisions in the conditions of the DPR]. Vestnik Akademii znaniy, 2025, no. 4(69), pp. 728–735. (In Russ.) EDN VUZNXQ.
8. **Buryakova A.O.** [Digital twin of an organization as a controlling tool]. Finansovyy menedzhment, 2025, no. 3, pp. 247–254. (In Russ.) EDN PETQEA.
9. **Orlova E.V.** [Designing a digital twin of an enterprise employee]. Ontologiya proektirovaniya, 2025, vol. 15, no. 4(58), pp. 471–485. (In Russ.) doi: 10.18287/2223-9537-2025-15-4-471-485. EDN TIPQEL.

10. **Stolyarov A.D., Gordeev V.V., Abramov V.I.** [Digital twins as tools for improving the efficiency of company management]. Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve, 2024, no. 4(52), pp. 5–16. (In Russ.) doi: 10.21685/2227-8486-2024-4-1. EDN YMRZCN.
11. **Markaryan L.V., Begichev E.A.** [Development of a digital twin of a production line for modeling and predicting equipment failures of an industrial enterprise]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii, 2026, no. 3, pp. 46–54. (In Russ.) doi: 10.17513/snt.40704. EDN UQLQXL.
12. **Romanova E.E., Gataullina E.V., Pelymskaya I.S.** [Assessment of the introduction of a digital twin into the production process]. Vesennie dni nauki: sbornik dokladov mezhdunarodnoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh, Ekaterinburg, 20–22 aprelya 2023 goda. Ekaterinburg: OOO Izdatel'skiy Dom "Azhur", 2023, pp. 538–541. (In Russ.) EDN EDWJSP.
13. **Palkina E.S., Safronova V.P., Chernov O.A.** [Economic justification for the introduction of digital technologies in transport logistics]. Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta, 2025, no. 2(52), pp. 114–133. (In Russ.)
14. **Belinskaya I.V., Kutepova P.S.** [Study of the introduction of end-to-end digital technologies into industrial ecosystems]. Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta, 2025, no. 3(53), pp. 9–26. (In Russ.)
15. **Klyuchnikov I.K., Klyuchnikov O.I.** [Sociotechnical and institutional aspects of the algorithmic decision-making process]. Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta, 2026, no. 1(55), pp. 145–170. (In Russ.)
16. **Akarsu O.** Design and Data-Driven Strategic Management Model Based on Digital Twin. *Journal of the Human and Social Science Researches*, 2025, vol. 14, no. 4, pp. 89–122. doi: 10.15869/itobiad.1719467. EDN AXCJXL.
17. **Edrisi F., Perez-Palacin D., Caporuscio M., Giussani S.** Developing and Evolving a Digital Twin of the Organization. *IEEE Access*, 2024, vol. 12, pp. 45475–45494. doi: 10.1109/access.2024.3381778. EDN UXWFNP.
18. **Slot M., Damgrave R., Lutters E.** A structured digital twinning approach to improve decision-making in manufacturing SMEs. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2024, vol. 55, pp. 359–374. doi: 10.1016/j.cirpj.2024.10.010. EDN QTSWPM.
19. **Bányai Tóth Á.** Real-time supplier selection using digital twin technology: an Analytic Hierarchy Process-based optimization approach. *Advanced Logistic Systems - Theory and Practice*, 2024, vol. 18, no. 2, pp. 97–107. doi: 10.32971/als.2024.021. EDN RIUXDF.
20. **Palmitessa E., Premoli A., Roda I., Macchi M.** Integrating maintenance and energy problems through a Digital Twin-based decision support framework under the

guidance of Asset Management. *IFAC-PapersOnLine*, 2024, vol. 58, no. 8, pp. 7–12. doi: 10.1016/j.ifacol.2024.08.042. EDN YPRYPU.

21. **Shabaltina L.V., Maslennikov V.V., Kalinina I.A.** [Digital twin as a dynamic management model: from limitations to digital maturity]. Informatizatsiya v tsifrovoy ekonomike, 2025, vol. 6, no. 4, pp. 565–584. (In Russ.) doi: 10.18334/ide.6.4.124536. EDN RIUBBU.
22. **Yakovleva D.D.** [Application of a digital twin in the decision support system of an integrated company of the nuclear industry]. Liderstvo i menedzhment, 2025, vol. 12, no. 1, pp. 61–78. (In Russ.) doi: 10.18334/lim.12.1.121992. EDN EKOKDJ.
23. **Podbornova E.S.** [Impact of digital twins on the optimization of business processes of industrial enterprises]. Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie, 2024, vol. 15, no. 4, pp. 177–186. (In Russ.) doi: 10.18287/2542-0461-2024-15-4-177-186. EDN TFTRHI.
24. **Chuvaev V.V.** [Intelligent digital twin as a tool for digital transformation of service companies]. Progressivnaya ekonomika, 2026, no. 2, pp. 449–466. (In Russ.) doi: 10.54861/27131211_2026_2_449. EDN VYYZRQ.