Международный научно-исследовательский журнал
«Прогрессивная экономика»
№ 2 / 2026 https://progressive-economy.ru/vypusk_1/intellektualnyj-czifrovoj-dvojnik-kak-instrument-czifrovoj-transformaczii-servisnyh-kompanij/
Научная статья / Original article
Шифр научной специальности ВАК: 5.2.3
УДК 338.46:004.94
DOI: 10.54861/27131211_2026_2_449



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК КАК ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ

Чуваев В.В., *аспирант кафедры непроизводственной сферы и социальных технологий Академия труда и социальных технологий, г. Москва, Россия*
119454, г. Москва, ул. Лобачевского, д. 90
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-3506-188X

Аннотация. Целью статьи является обоснование методологических основ формирования и реализации организационно-экономического механизма цифровой трансформации компаний сферы ИТ-услуг на базе архитектуры интеллектуального цифрового двойника (ИЦД). Методологическую основу исследования составили системный анализ, методы имитационного моделирования и архитектурный фреймворк Platform Stack консорциума Digital Twin Consortium (DTC). В рамках настоящего исследования проведен сравнительный анализ и представлено детальное описание архитектурного базиса цифрового двойника организации, наиболее релевантного специфике сервисных компаний, в частности сферы ИТ-услуг. Научная новизна работы заключается в обосновании многоуровневой целевой архитектуры ИЦД организаций сферы ИТ-услуг, которая, в отличие от существующих подходов, учитывает специфику управления нематериальными активами и динамический характер сервисных бизнес-процессов. В результате автором раскрыты преимущества стека DTC Platform Stack для проектирования композитных систем управления и описана структура ИЦД, включающая слои реального мира, безопасности, инфраструктуры, виртуального представления, интеграции и синхронизации, а также слой приложений. Сформулированы принципы проектирования и интеграции искусственных нейросетевых структур в архитектуру цифрового двойника, обеспечивающие автономность системы и её способность к генерации предиктивных управленческих решений. Практическая значимость работы заключается в обосновании ИЦД как эффективного инструмента цифровой трансформации на пути инновационного развития организации, реализуемого через переход к системе предиктивного управления на основе данных нейросетевого анализа и имитационного моделирования сценариев в виртуальной среде. Перспективы дальнейших исследований связаны с масштабированием разработанной архитектуры на различные сегменты непроизводственной сферы и интеграцией локальных ИЦД в глобальные цифровые экосистемы.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: цифровая трансформация, сфера услуг, интеллектуальный цифровой двойник, DTC Platform Stack, предиктивное управление, имитационное моделирование, нейросети.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чуваев В.В. Интеллектуальный цифровой двойник как инструмент цифровой трансформации сервисных компаний // Прогрессивная экономика. 2026. № 2. С. 449–466. https://doi.org/10.54861/27131211_2026_2_449.

Статья поступила в редакцию: 28.01.2026 г. Одобрена после рецензирования: 02.03.2026 г. Принята к публикации: 03.03.2026 г.

INTELLIGENT DIGITAL TWIN AS A TOOL FOR THE DIGITAL TRANSFORMATION OF SERVICE COMPANIES

Chuvaev V.V., *Postgraduate Student, Department of Non-productive Sphere and Social Technologies, Academy of Labour and Social Relations, Moscow, Russia*
119454, Moscow, Lobachevsky St., Bldg. 90
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-3506-188X

Abstract. The purpose of the article is to substantiate the methodological foundations of the formation and implementation of the organizational and economic mechanism of digital transformation of IT services companies based on the architecture of an intelligent digital twin (IDC). The methodological basis of the study was system analysis, simulation modeling methods and the architectural framework Platform Stack of the Digital Twin Consortium (DTC). This study provides a comparative analysis and a detailed description of the architectural basis of the organization's digital twin, which is most relevant to the specifics of service companies, in particular the IT services sector. The scientific novelty of the work lies in the substantiation of a multi-level target architecture of IT services organizations, which, unlike existing approaches, takes into account the specifics of intangible asset management and the dynamic nature of service business processes. As a result, the author reveals the advantages of the DTC Platform Stack for designing composite control systems and describes the structure of the data center, which includes layers of the real world, security, infrastructure, virtual representation, integration and synchronization, as well as an application layer. The principles of designing and integrating artificial neural network structures into the architecture of a digital twin are formulated, ensuring the autonomy of the system and its ability to generate predictive management decisions. The practical significance of the work lies in the substantiation of the IDI as an effective tool for digital transformation on the path of innovative development of an organization, implemented through the transition to a predictive management system based on neural network analysis and simulation modeling scenarios in a virtual environment. The prospects for further research are related to scaling the developed architecture to various segments of the non-manufacturing sector and integrating local data centers into global digital ecosystems.

Keywords: digital transformation, service sector, intelligent digital twin, DTC Platform Stack, predictive management, simulation modeling, neural networks.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

JEL classification: O32, O33, L80, M15.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Chuvaev V.V. (2026). Intellektual'nyj cifrovoj dvojnik kak instrument cifrovoj transformacii servisnyh kompanij [Intelligent digital twin as a tool for the digital transformation of service companies]. Progressivnaya ekonomika [Progressive Economy], 2, 449–466. https://doi.org/10.54861/27131211_2026_2_449. (In Russ., abstract in Eng.)

The article was submitted to the editorial office: 28/01/2026. Approved after review: 02/03/2026. Accepted for publication: 03/03/2026.

Введение

Ронцепция цифровых двойников (Digital Twins) признается одним из наиболее перспективных инструментов повышения конкурентоспособности предприятий. Однако, несмотря на высокую степень проработки технологических аспектов в промышленности, внедрение данных решений в непроизводственную сферу сталкивается с серьезными методологическими барьерами. Традиционные международные и отечественные стандарты и подходы в этой области исторически ориентированы преимущественно на мониторинг и управление физическими активами, что существенно ограничивает возможности моделирования сложных, динамичных бизнес-процессов, характерных для сферы услуг, и сдерживает рост операционной эффективности сервисных компаний в условиях высокой неопределенности внешней среды.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью преодоления данного технологического разрыва и поиска новых форм управления сервисными компаниями. В условиях, когда ключевую роль играют нематериальные активы и человеческий капитал, критически важным становится формирование гибкого организационно-экономического механизма цифровой трансформации. Таким механизмом может стать интеллектуальный цифровой двойник, способный интегрировать разнородные потоки данных и имитировать сценарии развития в виртуальной среде для принятия обоснованных управленческих решений.

Несмотря на наличие фундаментальных работ в области цифрового моделирования, вопросы проектирования многоуровневых целевых архитектур ИЦД для организаций сферы ИТ-услуг остаются недостаточно изученными. Существующие архитектурные стандарты и подходы часто не учитывают специфику сервисных бизнес-процессов, их изменчивость и высокую зависимость от информационной инфраструктуры.

Целью настоящей статьи является обоснование методологических основ формирования и реализации организационно-экономического механизма цифровой трансформации компаний сферы ИТ-услуг на базе интеллектуального цифрового двойника.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Научная новизна работы заключается в обосновании многоуровневой целевой архитектуры ИЦД организаций сферы ИТ-услуг, которая, в отличие от существующих подходов, учитывает специфику управления нематериальными активами и динамический характер сервисных бизнес-процессов.

Обзор литературы

Теоретический фундамент концепции цифровых двойников (ЦД) был заложен в работах М. Гривза и Дж. Викерса [1], которые определили ЦД как динамическую виртуальную репрезентацию физического объекта, базирующуюся на автоматической синхронизации данных между физическим и виртуальным пространствами в режиме реального времени. В последние годы научный дискурс сместился в сторону проектирования цифровых двойников организаций (Digital Twin of an Organization, DTO). Современные исследователи, такие как В.И. Абрамов и К.Ю. Семенков [2], рассматривают DTO как комплексное управленческое решение, интегрирующее бизнес-логику компании. Эволюция концепции от простого мониторинга к сложным аналитическим системам подробно проанализирована в обзоре Applied Sciences [3].

В контексте цифровой трансформации сферы услуг А.К. Попков [4] выделяет цифровые двойники как ключевой элемент организационно-экономического механизма. Эксперты S&P Global [5] и ResearchGate [6] подчеркивают, что основной экономический эффект технологии достигается за счет перехода к предиктивному управлению, оптимизирующему операционные циклы и трансакционные издержки. Возможности применения ЦД для достижения преимуществ в рамках парадигмы Индустрии 5.0 рассматриваются в работах Iberdrola Innovation [7] и Zetasoft [8].

Особую роль в обеспечении устойчивости сервисных систем играют исследования ScienceDirect [9]. При этом Д.А. Сосфенов [10] и аналитики Scalacode [11] указывают на долгосрочные перспективы развития ЦД как инструментов стратегического планирования. Методологические аспекты проектирования динамических бизнес-процессов на основе двойников развиваются в трудах Ю.Ф. Тельнова [12]. Фундаментальное значение для формирования архитектурных стандартов имеет деятельность Digital Twin Consortium (DTC) [13], чьи разработки в области архитектурного фреймворка (базы) Platform Stack позволяют создавать гибкие композитные системы управления. Исследования B.R. Barricelli [14] обосновывают антропоцентрический характер современных систем, а вопросы предиктивной оптимизации сервисных процессов через интеграцию аналитических инструментов в контур цифрового двойника подробно рассматриваются в работах В.А. Казакова и И.Г. Федорова [15].

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют системный подход, методы логического и сравнительного анализа, а также архитектурный фреймворк Platform Stack консорциума Digital Twin Consortium (DTC). В работе использован метод концептуального моделирования для формирования архитектуры интеллектуального цифрового двойника, адаптированной под специфику организаций сферы услуг.

В ходе проведения исследования применялись сравнительно-сопоставительный анализ существующих стандартов в области промышленного интернета вещей и цифровых двойников, классификация и типизация, метод теоретического синтеза. Информационной базой исследования послужили профильные стандарты, спецификации Digital Twin Consortium, а также национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59277-2020 «Искусственный интеллект [13; 14; 17]. Классификация систем искусственного интеллекта». Эмпирическую основу составили результаты фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области цифровой трансформации и инновационного развития сферы услуг, опубликованные в изданиях, индексируемых в базах РИНЦ, Scopus и Web of Science.

Методологические принципы построения функционально-управленческой архитектуры цифрового двойника

Выбор архитектурного подхода к разработке интеллектуального цифрового двойника организации определяет его функциональный потенциал как инструмента цифровой трансформации на пути инновационного развития. Именно архитектурный базис закладывает возможности системы по переходу к принятию управленческих решений на основе данных и реализации механизмов предиктивной аналитики, обеспечивая при этом необходимую масштабируемость и интероперабельность цифровой среды организации.

Большинство современных международных и отечественных стандартов в данной области преимущественно ориентированы на производственные системы. В связи с этим в качестве методологического базиса исследования был использован архитектурный фреймворк Platform Stack консорциума Digital Twin Consortium (DTC), предлагающий более универсальный инструментарий проектирования цифровых двойников, в том числе применительно к моделированию организаций в целом [13; 14].

Выбор методологии проектирования интеллектуального цифрового двойника сервисной организации предопределяется результатами сопоставительного анализа существующих архитектурных моделей и стандартов. На сегодняшний день наиболее востребованными концептуальными схемами являются RAMI 4.0, IIRA, стандарты ISO 23247, ПНСТ 429–2020, а также проприетарные облачные решения ведущих ИТ-провайдеров [18; 19; 20; 21]. Несмотря на различия в реализации, данные

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

подходы объединяет общая фундаментальная база: использование сервис-ориентированной архитектуры, принципов модульности и наличие коммуникационного уровня для обмена данными. Все рассматриваемые модели базируются на идее создания цифрового эквивалента реальности, что обеспечивает их концептуальную совместимость в вопросах сбора и первичной обработки операционных данных.

Однако для целей данного исследования архитектурный стек DTC Platform Stack обладает рядом критических преимуществ. В первую очередь, это касается трансформации объекта моделирования: если большинство стандартов (ISO 23247, ПНСТ 429–2020, RAMI 4.0) исторически сфокусированы на физических активах и технологических операциях, то подход DTC предлагает высокий уровень абстракции. Это позволяет моделировать не только материальные объекты, но и бизнес-процессы, а также социо-экономические аспекты функционирования организации, где управленческая логика превалирует над параметрами оборудования.

Кроме того, в отличие от промышленных стандартов, описывающих преимущественно изолированные двойники, DTC ориентирован на принципы композитности и федеративности. Важным отличием также выступает приверженность открытым протоколам, что обеспечивает интероперабельность в гетерогенных средах и исключает риски зависимости от одного производителя, характерные для проприетарных платформ. Наконец, преимущество DTC заключается в реализации концепции сквозной доверенности, объединяющей безопасность, надежность и приватность, что является обязательным условием для систем управления социально-экономическими системами.

Резюмируя вышеизложенное, следует подчеркнуть, что ключевым преимуществом фреймворка DTC выступает его универсальность и выраженная ориентация на сервисы, приложения и программное обеспечение. Это оптимально соответствует специфике ИТ-организаций и их бизнес-процессам, поскольку подход DTC позволяет проектировать системы, состоящие из композитных и распределенных цифровых двойников, обеспечивая тем самым эффективное управление высокоуровневой сложностью полномасштабных интеллектуальных систем.

Графическая архитектура фреймворка Platform Stack представлена ниже на Рисунке 1. Архитектурный фреймворк DTC представляет собой многоуровневую логическую модель, систематизирующую непрерывное взаимодействие между физической реальностью и её цифровым отображением.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

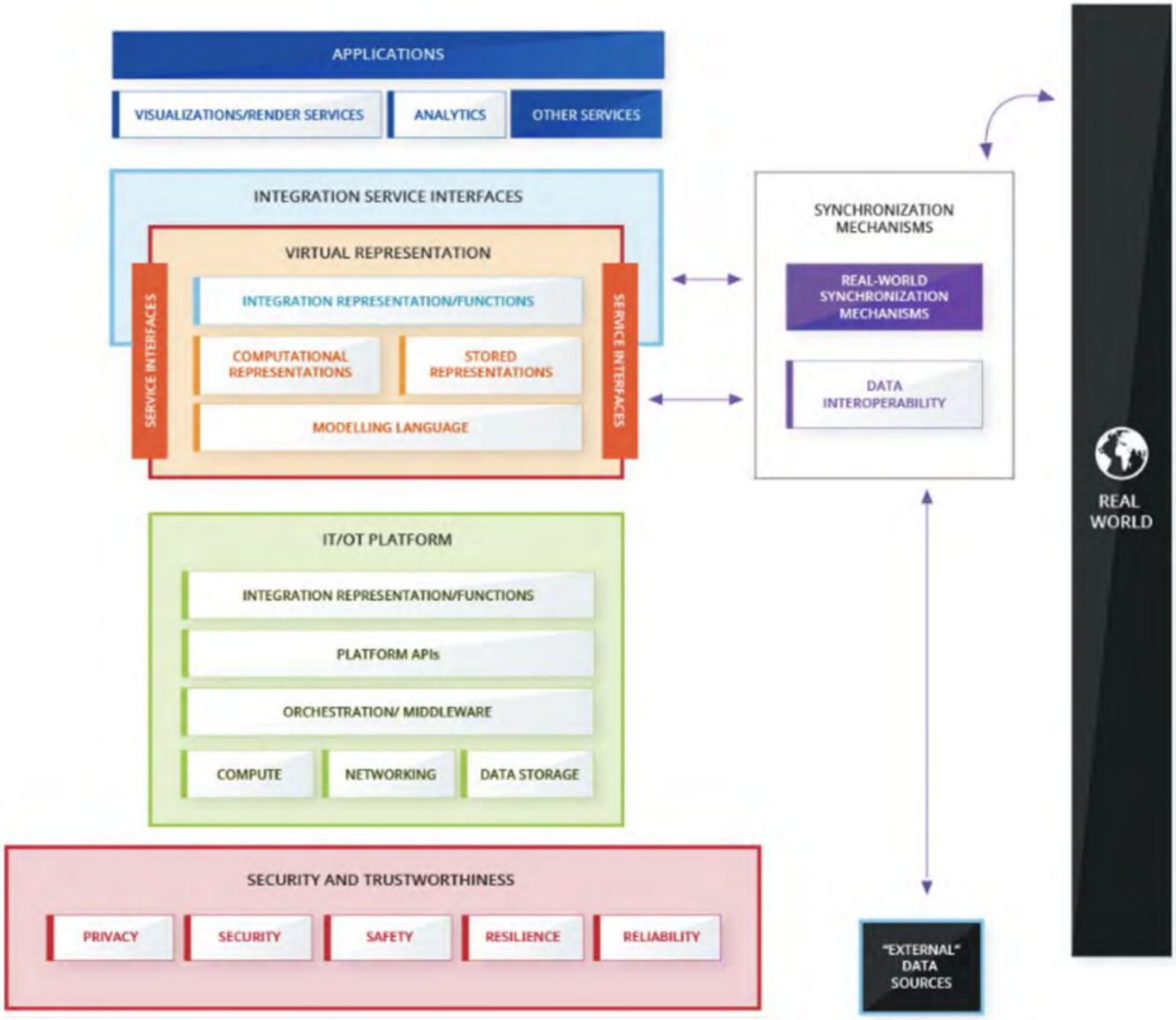


Рис. 1. Архитектура DTC Platform Stack Framework

Источник: составлено автором по данным [13]

Fig. 1. DTC Platform Stack Architecture

Source: compiled by the author according to [13]

В основе этой структуры лежит слой реального мира (Real World), который представляет собой совокупность физических активов, организационных структур, персонала и бизнес-процессов организации. Данный слой является источником первичных операционных данных и объектом управленческого воздействия, формируемого на основе аналитики цифрового двойника. Сбор данных о текущем состоянии и поведении физического объекта осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов, а также путем извлечения сведений из корпоративных информационных систем и анализа неструктурированного контента (деловой переписки и сообщений в мессенджерах).

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Обратная связь и воздействие на реальную среду реализуются через исполнительные механизмы и системы управления. Управленческие решения и оптимизационные стратегии, разработанные элементами слоя приложений, передаются в реальный мир, где преобразуются в конкретные действия или конфигурации. Все эти воздействия изменяют состояние или поведение физического субъекта или объекта в соответствии с поставленными целями.

Связующим звеном, обеспечивающим двустороннюю связь между физической средой (реальным миром) и его виртуальным представлением, выступает слой интеграции и синхронизации (Integration & Synchronization). Ключевая задача данного слоя заключается в обеспечении системного взаимодействия и интероперабельности между всеми структурными компонентами архитектуры цифрового двойника организации, в том числе агрегация данных из гетерогенных источников, их верификация, очистка и трансляция с соблюдением требований к частоте синхронизации состояний.

Описание архитектуры виртуального пространства интеллектуального цифрового двойника необходимо начать со слоя безопасности и доверенности, который выступает его концептуальным фундаментом, а также является сквозным для остальных слоев. Безопасность, доверие и управление являются основополагающими компонентами для системы цифровых двойников. Достоверность определяется как степень уверенности в том, что система функционирует должным образом, и включает в себя такие характеристики, как безопасность процессов, защищенность, конфиденциальность, надежность и отказоустойчивость в условиях различных внешних воздействий, ошибок и сбоев.

Под конфиденциальностью подразумевается обеспечение прав субъектов на контроль над информацией, связанной с ними. Защищенность определяет свойство системы быть защищенной от несанкционированного доступа, изменения или уничтожения, гарантируя при этом доступность, целостность и конфиденциальность данных. Под безопасностью процессов понимается состояние системы, при котором риск физического травмирования людей или нанесения ущерба имуществу и окружающей среде является неприемлемым. Отказоустойчивость описывает способность системы поддерживать установленный уровень обслуживания в условиях нарушений функционирования. Наконец, надежность – это способность системы выполнять требуемые функции в течение заданного периода времени при определенных условиях.

Технологическим фундаментом цифрового двойника является инфраструктурный слой, представляющий собой совокупность вычислительной инфраструктуры, сервисов информационных (ИТ) и операционных технологий (ОТ), на которых реализованы все его компоненты. Высокоуровневые элементы гарантируют связь между функциональными сервисами оркестровки, операций и платформы с физическими и операционными аспектами, включая вычислительные ресурсы, сети и

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

хранение данных. К элементам инфраструктуры относятся вычислительные ресурсы, хранение данных, сетевая инфраструктура и промежуточное программное обеспечение оркестровки, которые обеспечивают базовые ресурсы для поддержки работы программного обеспечения и приложений. Программные интерфейсы платформы (API) предоставляют стандартизированный доступ к сервисам платформы и функциям управления. При этом развертывание элементов платформы отличается гибкостью и может быть реализовано в удаленном центре обработки данных, локально, на периферийных вычислениях, во встроенных системах, на мобильных устройствах, а также в распределенной или гибридной среде».

Ядром, в том числе интеллектуальным, архитектуры цифрового двойника является слой виртуального представления (Virtual Representation), который определяется как комплексное, согласованное цифровое представление, включающее хранимые и вычислительные представления, а также вспомогательные данные, которые в совокупности обеспечивают информационно насыщенный «виртуальный» опыт взаимодействия с объектом. Данный слой состоит из хранимых и вычислительных представлений, а также платформ и языков моделирования, используемых для их выражения. Хранимые представления содержат структурированные информационные массивы, отображающие статичное состояние субъекта и объекта. Вычислительное представление, в свою очередь, можно определить как исполняемую цифровую форму алгоритмов и данных, которые динамически описывают предметную область и могут включать компьютерное моделирование, анализ больших данных, а также алгоритмы и методы искусственного интеллекта.

За реализацию экономической ценности системы цифровых двойников отвечает слой приложений (Applications) и сервисов. Цифровые сервисы двойников представляют собой функциональные модули, работа которых базируется на внутренней бизнес-логике. Функциональные блоки слоя позволяют объединять функции визуализации, аналитики и мониторинга в мощные интегрированные решения, направленные на управление производительностью, финансовое моделирование и оптимизацию бизнес-процессов. Практическая реализация архитектуры DTC предполагает использование стека программных средств, варьирующихся от облачных платформ до специализированных инструментов имитационного моделирования. Консорциум рекомендует применение открытых масштабируемых решений, обеспечивающих интероперабельность на основе стандартизированных API-интерфейсов.

Практическая апробация и развитие архитектурного фреймворка DTC Platform Stack подтверждаются его широким применением в различных отраслях и интеграцией с существующими стандартами. Консорциум DTC регулярно публикует примеры реальных сценариев использования, охватывающих управление энергетическими системами зданий, реагирование

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

на чрезвычайные ситуации, контроль качества в производстве и анализ углеродного следа в цепях поставок. Перечисленное свидетельствует о том, что DTC Platform Stack является универсальной и масштабируемой основой для проектирования цифровых двойников сложных социально-экономических систем и организаций.

Многоуровневая архитектура на базе DTC Platform Stack закладывает структурный каркас интеллектуального цифрового двойника сервисной организации. Однако для достижения подлинной автономности и способности системы генерировать управленческие решения необходим мощный аналитический инструментарий. В этой связи критически важным становится внедрение методов искусственного интеллекта в архитектурно-функциональный контур ИЦД. Именно интеграция искусственного интеллекта обеспечивает динамическую адаптивность системы к неопределенности внешней среды и перевод управления из реактивной модели в предиктивную.

Инструментарий предиктивного управления на основе интеграции искусственного интеллекта в контур ИЦД

В архитектуре цифрового двойника инструменты искусственного интеллекта (ИИ) применяются для обработки и глубокой аналитики неоднородных массивов информации и больших данных, поступающих из разнообразных источников, включая операционные данные корпоративных информационных систем, коммуникационные данные почтовых систем и мессенджеров, а также синтетические данные, генерируемые имитационными моделями. Комплексное применение ИИ позволяет осуществлять не только мониторинг и моделирование текущих состояний объектов и процессов, но и реализовывать предиктивную аналитику для прогнозирования их будущего поведения.

Фундаментальная цель ИИ заключается в моделировании когнитивных процессов посредством создания алгоритмов и моделей, способных к анализу больших объемов данных, выявлению скрытых закономерностей и формулированию обоснованных прогнозов или выводов на основе полученной информации [8; 15]. В соответствии с классификацией ГОСТ Р 59277-2020, искусственные нейронные сети рассматриваются как одни из ключевых методов когнитивной обработки информации [17], что предопределяет их интеграцию в архитектуру интеллектуального цифрового двойника. При этом методы обучения нейросетей определяют возможный уровень зрелости встраиваемого искусственного интеллекта, в то время как выбор конкретной топологии нейросети является основой для реализации его прикладных функциональных возможностей.

На этапе формирования базовых аналитических способностей цифрового двойника задействуется обучение нейросетей с учителем (supervised learning), которое предполагает использование маркированных массивов данных для трансляции накопленного опыта и формирования

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

прогнозов состояний объекта. Переход к более высокой степени когнитивной автономности обеспечивается внедрением обучения нейросетей без учителя (unsupervised learning), которое позволяет идентифицировать скрытые закономерности и аномалии в неструктурированных потоках данных без предварительной разметки. Высший уровень зрелости интеллекта двойника достигается за счет обучения нейросетей с подкреплением (reinforcement learning), где в процессе итерационного взаимодействия с виртуальной средой цифровой двойник вырабатывает способность к самостоятельному поиску оптимальных сценариев управления в неопределенных внешних условиях, достигая необходимой адаптивности и автономности.

Как упоминалось ранее, топология нейросети является фундаментом, который предопределяет спектр решаемых прикладных задач. Если сети прямого распространения (FNN) эффективны для анализа статических числовых зависимостей, то рекуррентные модели (RNN) специализируются на обработке временных последовательностей, что позволяет им успешно предсказывать поведение системы в динамике. В архитектуре цифровых двойников модели типа RNN становятся незаменимыми для моделирования временных процессов, обеспечивая точность прогнозирования состояний объекта на основе анализа накопленных данных.

При переходе к анализу визуального контента приоритет смещается в сторону сверточных нейросетей (CNN), которые демонстрируют высокую эффективность в распознавании образов. Это обеспечивает точность передачи внешнего облика и внутренней структуры исследуемого объекта за счет автоматического извлечения ключевых признаков из изображений.

В свою очередь, автокодировщики (Autoencoders) реализуют принцип реконструкции входных данных через их промежуточное сжатие, что критически важно для фильтрации шумов и уменьшения размерности массивов при сохранении их значимых свойств. Для решения задач, требующих глубокой обработки сложных последовательностей, таких как распознавание речи или анализ текстов, приоритетными становятся трансформеры (Transformers). Благодаря «механизму внимания» данные модели способны эффективно фокусироваться на наиболее значимых фрагментах информации, обеспечивая высокую связность компонентов цифрового двойника. Наконец, генеративно-состязательные сети (GAN), объединяющие в своей архитектуре две соревнующиеся модели – генератор и дискриминатор, позволяют синтезировать реалистичные данные, что необходимо для настройки систем в условиях дефицита реальной эмпирической информации.

Использование разнообразных топологий искусственных нейронных сетей в архитектуре цифровых двойников позволяет качественно нарастить точность прогнозов и стабильность создаваемых организационно-экономических моделей [22], что способствует более эффективному контролю и оптимизации бизнес-процессов и комплексных систем в целом.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Переходя к проектированию архитектуры нейросетей для интеллектуальных цифровых двойников, необходимо придерживаться определенных принципов, обеспечивающих достоверность и прогностическую ценность системы. Первоочередным выступает принцип адекватности отображения реальности, требующий от нейросетевой структуры точного воспроизведения физических, химических или биологических закономерностей, свойственных объекту [23]. Обеспечение точности реализуется через валидацию топологии, где конфигурация нейросети выбирается исходя из её когнитивного потенциала и способности к обобщению. В практике создания цифровых двойников приоритет отдается глубоким архитектурам, способным идентифицировать сложные закономерности в массивах данных.

Высокая точность прогнозов проектируемых моделей достигается за счет оперирования многоуровневыми информационными потоками, состоящими как из структурированных операционных данных, получаемых из информационных систем, так и из неструктурированного контента (тексты, визуальные образы), что позволяет нейросетям учитывать контекстные взаимосвязи между элементами. Эффективность обучения и когнитивный потенциал нейросетей напрямую зависят от качества входной информации. Процесс многоэтапной подготовки входных данных включает фильтрацию шумов, нормализацию и выделение значимых признаков. Обязательным условием является выявление и корректная обработка аномалий или статистических выбросов.

Для усиления прогностического потенциала цифрового двойника нейросетевые алгоритмы могут комбинироваться с классическими физико-математическими описаниями, которые учитывают априорные знания о фундаментальных законах природы. Вместе с тем, для сохранения актуальности в динамичной среде, архитектура должна соответствовать принципу непрерывного обучения и адаптации к изменениям в реальной среде. Это может быть реализовано посредством методов онлайн-обучения или регулярного обновления модели на новых данных, что обеспечивает актуальность и точность модели в динамично изменяющихся внешних условиях. Важным завершающим принципом при построении нейросетевой модели выступает интерпретируемость результатов, которая позволяет пользователям и инженерам верифицировать логику принятия решений, что особенно важно в критически важных приложениях, таких как медицина или энергетика.

В конечном итоге, соблюдение вышеуказанных принципов позволяет разрабатывать такие архитектуры искусственных нейронных сетей, которые обеспечивают адекватное отображение реальных физических активов или бизнес-процессов в среде цифровых двойников. Такой подход формирует аналитический базис для выработки предиктивных оценок, необходимых для

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

принятия оптимальных управленческих решений, и находит свое выражение в решении ряда ключевых прикладных задач.

Первоочередной из прикладных задач является моделирование и прогнозная аналитика. Ключевая прикладная роль нейросетей в структуре цифровых двойников заключается в формировании моделей, способных предсказывать реакцию и поведение физических систем. Искусственный интеллект обрабатывает потоки данных от датчиков и внутрикорпоративных информационных систем, создавая на этой основе точные цифровые копии реальных объектов. Такая интеграция позволяет заранее определять будущие состояния системы, внедрять стратегии упреждающего обслуживания и обосновывать управленческие решения.

Параллельно обеспечивается интеллектуальная интерпретация информационных массивов. Функционирование цифровых двойников сопряжено с генерацией колоссальных объемов данных, требующих применения передовых вычислительных алгоритмов. Нейросети, прежде всего модели глубокого обучения, обладают необходимым инструментарием для высокоскоростного анализа этих потоков, они успешно идентифицируют неявные корреляции и девиации, которые зачастую игнорируются классическими статистическими методами.

Итоговым вектором использования нейросетей в архитектуре цифрового двойника становится совершенствование операционных и управленческих процессов и циклов. Нейросетевые технологии в контуре цифровых двойников служат эффективным инструментом интеллектуальной поддержки для топ-менеджмента и инженерного звена [23]. Опираясь на результаты многофакторного анализа и прогнозные сценарии, сформированные алгоритмами, специалисты получают возможность принимать выверенные и рациональные решения в вопросах сервисного обслуживания, модернизации мощностей или распределения активов.

Благодаря интерактивным пользовательским интерфейсам лица, принимающие управленческие решения, взаимодействуют с моделью в режиме реального времени. Нейросети оперативно обрабатывают входящие запросы и адаптируют способы представления информации, делая процесс взаимодействия более прозрачным и интуитивно понятным.

За счет автоматической корректировки параметров модели обеспечивается высокая автономность функционирования виртуального прототипа. Данный процесс базируется на интеллектуальном анализе входящих потоков данных и предустановленных алгоритмических правилах, что минимизирует риски, связанные с человеческим фактором, и максимизирует общую производительность комплекса.

Интеграция аппарата нейронных сетей в структуру цифрового двойника позволяет сформировать динамический адаптивный контур обратной связи. Данный механизм обеспечивает непрерывную самооптимизацию параметров

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

модели на основе поступающих данных, что гарантирует устойчивость системы в условиях неопределенности отраслевой среды.

Таким образом, использование искусственных нейронных сетей в архитектуре цифрового двойника охватывает широкий спектр задач, от моделирования и предсказательной аналитики до поддержки принятия управленческих решений и оптимизации бизнес-процессов. Искусственные нейронные сети открывают новые горизонты для эффективного управления и анализа сложных экономических систем, преобразовывая цифровые двойники в незаменимый инструмент повышения конкурентоспособности финансово-хозяйственной деятельности организации в современных экономических условиях.

В контексте цифровой трансформации сервисных организаций искусственный интеллект выступает не только технологическим инструментом, но и критическим фактором роста капитализации нематериальных активов. Интеграция ИИ в архитектуру цифрового двойника позволяет трансформировать накопленные массивы данных в экономический ресурс, обеспечивая переход от реактивной модели управления к предиктивной, что напрямую коррелирует с ростом операционной маржинальности бизнеса.

Заключение

Содержит положения основных научных результатов, включая перспективы дальнейших исследований. В процессе исследования автором были обоснованы методологические основы формирования организационно-экономического механизма цифровой трансформации сервисных компаний на основе интеллектуального цифрового двойника. Выявлено, что наиболее релевантным методологическим базисом для проектирования архитектуры интеллектуального цифрового двойника является фреймворк DTC Platform Stack. Показано, что предложенная в работе многоуровневая структура интеллектуального цифрового двойника формирует целостный каркас для эффективного управления ИТ-услугами. Особое значение имеют сформулированные принципы проектирования нейросетевых архитектур, которые формируют интеллектуальное ядро системы и создают необходимый фундамент для перехода от реактивного к предиктивному управлению.

Практическая значимость работы заключается в обосновании ИЦД как ключевого инструмента цифровой трансформации. Разработанная многослойная архитектура служит дорожной картой для его создания в организациях сферы ИТ-услуг. Переход к предиктивному управлению на основе нейросетевого анализа и имитационного моделирования напрямую способствует росту операционной маржинальности и инновационной активности бизнеса. Перспективы дальнейших исследований связаны с апробацией предложенной модели в различных сегментах непроизводственной сферы, а также с интеграцией локальных

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

интеллектуальных двойников в глобальные отраслевые цифровые экосистемы.

Литература

1. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, Cham, 2017. P. 85–113.
2. Абрамов В. И., Семенков К. Ю. Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании // Креативная экономика. 2023. Т. 17. № 4. С. 1245–1262.
3. Digital Twin A Review of the Evolution from Concept to Technology // Applied Sciences. 2024. Vol. 14. No. 2. https://doi.org/10.3390/app14020000.
4. Попков А.К. Цифровая трансформация экономической деятельности: модели и инструменты // Прогрессивная экономика. 2025. № 1. С. 15–28.
5. Digital Twins for Process Optimization: Strategic Insights 2025 // S&P Global Market Intelligence. 2025. URL: https://www.spglobal.com.
6. Economics of Digital Twins: Costs, Benefits, and Decision Making // ResearchGate. 2024. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.3412.
7. What is a Digital Twin: advantages and applications in Industry 5.0 // Iberdrola Innovation. 2025. URL: www.iberdrola.com.
8. How AI Digital Twins Will Revolutionize Industries By 2030 // Zetasoft Digital Insights. 2025. URL: zetasoft.com.
9. Digital twins for essential services: Resilience and Sustainability // ScienceDirect / Government Information Quarterly. 2025. Vol. 42. Issue 1.
10. Сосфенов Д.А. Цифровой двойник: история возникновения и перспективы развития // Экономика и качество систем управления. 2023. № 2. С. 44–51.
11. Future of Digital Twins: Trends for 2025 and Beyond // Scalacode Analytics. 2025. URL: scalacode.com.
12. Тельнов Ю.Ф., Данилов В.В. Проектирование динамических бизнес-процессов на основе технологий цифровых двойников // Экономика, статистика и информатика. 2023. № 3. С. 67–75.
13. McKee D. Platform Stack Architectural Framework : An Introductory Guide : A Digital Twin Consortium White Paper : Digital Twin Consortium, 2023. 39 с.
14. Digital Twin Consortium (DTC). Infrastructure and Platform Stack Architectural Framework. Digital Twin Consortium, 2020. URL: www.digitaltwinconsortium.org (дата обращения: 04.08.2025).
15. Barricelli B. R., Morra S. Digital Twins for Human-Centric Systems in Industry 5.0 // IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 3412–3429.

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

16. Казаков В. А., Федоров И. Г. Моделирование и оптимизация сервисных процессов на основе предиктивной аналитики цифровых двойников // Бизнес-информатика. 2024. № 2. С. 45–58.

17. ГОСТ Р 59277–2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. Москва: Стандартинформ, 2020. 12 с.

18. ПНСТ 429–2020. Информационные технологии. Цифровые двойники. Состав и содержание. Москва : Стандартинформ, 2020. 14 с.

19. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration Digital twin framework for manufacturing Part 1: Overview and general principles. Geneva : ISO, 2021. 20 p.

20. DIN SPEC 91345:2016-04. Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Berlin : Beuth Verlag, 2016. 32 p.

21. Industrial Internet Consortium (IIC). The Industrial Internet Reference Architecture (IIRA). IIC, 2019. 123 p. URL: www.iiconsortium.org.

22. Булатенко М.А., Федин М.А., Маркин Н.В. Информационная безопасность цифровых двойников в системах управления: анализ угроз и методы защиты // Прогрессивная экономика. 2026. № 2. С. 340–357. https://doi.org/10.54861/27131211_2026_2_340.

23. Бобков И.А. Экономический инструментарий анализа цифровых двойников инновационной продукции авиастроения // Прогрессивная экономика. 2023. № 11. С. 19–33. https://doi.org/10.54861/27131211_2023_11_19.

References

1. Grieves M., Vickers J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Cham: Springer; 2017:85–113. (In Eng.)

2. Abramov V.I., Semenkov K.Yu. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sozdaniya tsifrovogo dvoinika kompanii [Theoretical and practical aspects of creating a company digital twin]. Kreativnaya ekonomika [Creative Economy]. 2023;17(4):1245–1262. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Digital twin: a review of the evolution from concept to technology. Applied Sciences. 2024;14(2). https://doi.org/10.3390/app14020000 (In Eng.)

4. Popkov A.K. Tsifrovaya transformatsiya ekonomicheskoi deyatel’nosti: modeli i instrumenty [Digital transformation of economic activity: models and tools]. Progressivnaya ekonomika [Progressive Economy]. 2025;(1):15–28. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Digital Twins for Process Optimization: Strategic Insights 2025. S&P Global Market Intelligence; 2025. Available at: https://www.spglobal.com (In Eng.)

6. Economics of digital twins: costs, benefits, and decision making. ResearchGate; 2024. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.3412 (In Eng.)

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

7. What is a digital twin: advantages and applications in Industry 5.0. Iberdrola Innovation; 2025. Available at: https://www.iberdrola.com (In Eng.)

8. How AI digital twins will revolutionize industries by 2030. Zetasoft Digital Insights; 2025. Available at: https://www.zetasoft.com (In Eng.)

9. Digital twins for essential services: resilience and sustainability. Government Information Quarterly. 2025;42(1). (In Eng.)

10. Sosfenov D.A. Tsifrovoi dvoinik: istoriya vozniknoveniya i perspektivy razvitiya [Digital twin: history of origin and development prospects]. Ekonomika i kachestvo sistem upravleniya [Economics and Quality of Control Systems]. 2023;(2):44–51. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Future of Digital Twins: Trends for 2025 and Beyond. Scalacode Analytics; 2025. Available at: https://www.scalacode.com (In Eng.)

12. Tel'nov Yu.F., Danilov V.V. Proektirovanie dinamicheskikh biznes-protsessov na osnove tekhnologii tsifrovykh dvoinikov [Design of dynamic business processes based on digital twin technologies]. Ekonomika, statistika i informatika [Economics, Statistics and Informatics]. 2023;(3):67–75. (In Russ., abstract in Eng.)

13. McKee D. Platform Stack Architectural Framework: An Introductory Guide. Digital Twin Consortium White Paper. Digital Twin Consortium; 2023. 39 p. (In Eng.)

14. Digital Twin Consortium. Infrastructure and Platform Stack Architectural Framework. Digital Twin Consortium; 2020. Available at: https://www.digitaltwinconsortium.org (accessed 04.08.2025). (In Eng.)

15. Barricelli B.R., Morra S. Digital twins for human-centric systems in Industry 5.0. IEEE Access. 2024;12:3412–3429. (In Eng.)

16. Kazakov V.A., Fedorov I.G. Modelirovanie i optimizatsiya servisnykh protsessov na osnove prediktivnoi analitiki tsifrovykh dvoinikov [Modeling and optimization of service processes based on predictive analytics of digital twins]. Biznes-informatika [Business Informatics]. 2024;(2):45–58. (In Russ., abstract in Eng.)

17. GOST R 59277–2020. Sistemy iskusstvennogo intellekta. Klassifikatsiya sistem iskusstvennogo intellekta [Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems]. Moscow: Standartinform; 2020. 12 p. (In Russ.)

18. PNST 429–2020. Informatsionnye tekhnologii. Tsifrovye dvoiniki. Sostav i soderzhanie [Information technology. Digital twins. Composition and content]. Moscow: Standartinform; 2020. 14 p. (In Russ.)

19. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles. Geneva: ISO; 2021. 20 p. (In Eng.)

20. DIN SPEC 91345:2016-04. Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Berlin: Beuth Verlag; 2016. 32 p. (In Eng.)

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

21. Industrial Internet Consortium. The Industrial Internet Reference Architecture (IIRA). IIC; 2019. 123 p. Available at: https://www.iiconsortium.org (In Eng.)

22. Bulatenko M.A., Fedin M.A., Markin N.V. Informatsionnaya bezopasnost' tsifrovykh dvoinikov v sistemakh upravleniya: analiz ugroz i metody zashchity [Information security of digital twins in control systems: threat analysis and protection methods]. Progressivnaya ekonomika [Progressive Economy]. 2026;(2):340–357. https://doi.org/10.54861/27131211_2026_2_340 (In Russ., abstract in Eng.)

23. Bobkov I.A. Ekonomicheskii instrumentarii analiza tsifrovykh dvoinikov innovatsionnoi produktsii aviastroeniya [Economic toolkit for analyzing digital twins of innovative aircraft products]. Progressivnaya ekonomika [Progressive Economy]. 2023;(11):19–33. https://doi.org/10.54861/27131211_2023_11_19. (In Russ., abstract in Eng.).

© Чуваев В.В., 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.