

DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2024.2(51).23-31

УДК 164:004.9

JEL L23, M15, M21, O32



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛОГИСТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

**А.Д. Столяров**, Институт прикладных информационных технологий, Москва, Россия

**А.М. Файзуллина**, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

**В.И. Абрамов**, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

**Аннотация.** Эффективное управление логистическими процессами в условиях быстрых изменений становится необходимым условием для повышения конкурентоспособности предприятий и улучшения обслуживания клиентов. Цель статьи – выявить особенности цифровой трансформации в логистике с использованием технологий цифровых двойников, а также преимущества, которые могут дать нам такие преобразования. Цифровые двойники предоставляют возможность оптимального управления физическими активами, такими как склады, оборудование и транспортные средства с целью повышения отдачи от использования ресурсов и снижения затрат. Методология исследования основана на системном подходе, применяемом при анализе сложных экономических систем, и использует общенаучные методы познания: анализ, сравнение, логические рассуждения, сбор фактов, синтез, а также структурный подход. Обсуждаются особенности обмена данными между логистической системой и ее цифровым двойником. Рассматриваются барьеры, с которыми в настоящее время сталкивается реализация цифровой трансформации логистики и применение цифровых двойников, предложены подходы для преодоления этих преград. Показано, что цифровые двойники являются мощным инструментом, который может использоваться для моделирования и анализа логистических процессов, что позволяет логистическим компаниям повышать свою результативность, снижать риски и улучшать качество обслуживания клиентов. Сделан вывод, что в долгосрочной перспективе усилия, вложенные в реализацию этих технологий, могут значительно повысить производительность и конкурентоспособность компаний в условиях современной цифровой экономики. Направления дальнейших исследований должны быть связаны с анализом успешного опыта реализации цифровой трансформации логистики с использованием цифровых двойников и предложением фреймворков для оптимизации усилий и затрат при их внедрении.

**Ключевые слова:** логистика, многокритериальная оптимизация, цифровая трансформация, цифровые двойники, цифровые технологии

**Для цитирования:** Столяров А.Д., Файзуллина А.М., Абрамов В.И. Цифровая трансформация логистики предприятия с использованием цифровых двойников // BENEFICIUM. 2024. № 2(51). С. 23-31. DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2024.2(51).23-31

ORIGINAL PAPER

## DIGITAL TRANSFORMATION OF ENTERPRISE LOGISTICS USING DIGITAL TWINS

**A.D. Stolyarov**, Institute of Applied Information Technologies, Moscow, Russia

**A.M. Faizullina**, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

**V.I. Abramov**, National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

**Abstract.** Effective management of logistics processes in an environment of rapid change is becoming a prerequisite for increasing the competitiveness of enterprises and improving customer service. The purpose of the article is to identify the features of digital transformation in logistics using digital twin technologies, as well as the advantages that such transformations can give us. Digital twins provide the ability to manage physical assets such as warehouses, equipment, and vehicles optimally to improve resource utilization and reduce costs. The research methodology is based on a systematic approach used in the analysis of complex economic systems, and uses general scientific methods of cognition: analysis, comparison, logical reasoning, fact collection, synthesis, as well as a structural approach. The features of data exchange between the logistics system and its digital twin are discussed. The barriers that the implementation of digital transformation of logistics and the use of digital twins currently face are considered, and approaches to overcome these barriers are proposed. Digital twins have been shown to be a powerful tool that can be used to model and analyze logistics processes, allowing logistics companies to improve their performance, reduce risks and improve customer service. It is concluded that, in the long term, the efforts invested in the implementation of these technologies can increase the productivity and competitiveness of companies significantly in

the modern digital economy. Directions for further research should be related to the analysis of successful experience in implementing the digital transformation of logistics using digital twins and the proposal of frameworks for optimizing efforts and costs during their implementation.

**Keywords:** logistics, multi-criteria optimization, digital transformation, digital twins, digital technologies

**For citation:** Stolyarov A.D., Faizullina A.M., Abramov V.I. Digital Transformation of Enterprise Logistics Using Digital Twins // Beneficium. 2024. Vol. 2(51). Pp. 23-31. (In Russ.). DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2024.2(51).23-31

### Введение

Современная экономическая среда характеризуется высокой турбулентностью и неопределенностью. В этих условиях принятие управленческих решений на основе только прошлого опыта в логике его экстраполяции становится неэффективным, следовательно, требуются новые подходы, базирующиеся на использовании данных с учетом предиктивной аналитики. Чтобы получить преимущества перед другими участниками рынка в таких условиях, компаниям следует внедрять инновационные разработки на практике [1]. Цифровая трансформация открывает множество новых возможностей для активного и плодотворного развития бизнеса и является ключевым фактором достижения успеха для компаний нового времени. Однако следует заметить, что цифровая трансформация – это не только использование цифровых технологий и инноваций, но и изменения в бизнес-моделях и процессах взаимоотношений с клиентами, которые могут помочь организациям стать более гибкими, оперативными и компетентными в нынешнем мире высоких технологий. Цифровая трансформация современных бизнес-организаций приводит к пересмотру всей пирамиды стратегий: корпоративной, конкурентной (бизнес) и операционной (в первую очередь маркетинг, HR и инновации) [2].

Логистика играет важную роль в обеспечении мобильности и жизнеспособности бизнеса, управляя потоками товаров и информационного обмена между производителем и потребителем. Отметим, что во многих развитых странах на транспорт приходится 6-12% валового внутреннего продукта (ВВП), а на логистику может приходиться до 6-25% ВВП [3]. Надежное управление логистическими процессами в условиях быстрых изменений становится необходимой предпосылкой повышения конкурентоспособности и совершенствования сервиса для клиентов. Цифровая трансформация логистики позволяет осуществить автоматизацию процессов с учетом обратных связей, организовать более качественную доставку, усовершенствовать управление запасами и точнее диагностировать спрос. Необходимо понимать, что новые технологические возможности интернета вещей (IoT) изменят всю систему взаимоотношений в цепочке создания стоимости, перераспределят влияние рынка между его участниками, позволят более корректно и рационально реагировать на запросы потребителей, но в то же время потребуют от них максимального доверия к поставщикам решений из-за передачи больших объемов конфиденциальных данных и автоматизации транзакций [4].

Одним из ключевых инструментов цифровой трансформации логистики являются цифровые двойники. Начиная с 2017 г., компания Gartner включает цифровые двойники (ЦД) в топ-10 стратегических технологических тенденций. Цифровой двойник – цифровое представление продукта, процесса или услуги, используемое для мониторинга, анализа и улучшения качества управления [5]. Цифровой двойник является актуальной и точной копией состояний и свойств объекта, включая форму, положение и изменения, что позволяет лучше понимать, прогнозировать и оптимизировать происходящие с объектом процессы [6]. По определению Gartner: «Цифровой двойник – это цифровая копия физических активов (физических двойников), процессов, людей, мест, систем и устройств, которые могут использоваться для различных целей... цифровые двойники объединяют искусственный интеллект, машинное обучение и программный анализ с графами пространственных сетей для создания живых цифровых имитационных моделей, которые обновляются и меняются по мере изменения их физических аналогов» [5]. Технология ЦД является одной из самых многообещающих технологий нашего времени, позволяющей принимать управленческие решения в логике «из будущего». Характерным свойством цифрового двойника считается бесстыковая интеграция физического и цифрового объекта.

Цифровой двойник логистической системы позволяет компаниям получать полное представление обо всех аспектах процесса – от состояния товаров и транспорта до условий хранения и прогнозирования спроса. Это создает новые возможности для оптимизации и улучшения логистических процессов, а также для принятия более обоснованных решений. Главная цель использования цифровых двойников в логистике и управлении цепочками поставок – это точное прогнозирование, эффективное планирование и профилактика проблем.

Технология цифровых двойников известна уже в течение двух десятилетий, тем не менее, ее внедрение является относительно новым явлением в сфере логистики [7] и систем цепочек поставок [8]. Цифровые двойники позволяют (а) заглянуть в прошлое, (б) оптимизировать настоящее и (в) развивать будущее посредством внедрения инноваций в продукты, услуги, машины, процессы, системы и даже целые бизнес-экосистемы [9]. Внедрение цифровых двойников достигло переломного момента и находится на этапе экспоненциального роста [10].

Такие условия сложились отчасти благодаря развитию различных технологий и прикладных программ / приложений [10]:

- сенсоров и эффекторов, способных обнаруживать и изменять точные временные и пространственные изменения в пространстве;
- интернета вещей, который информирует и влияет на физический мир;
- искусственного интеллекта (машинное обучение, предиктивная аналитика, естественный язык и т.д.), который делает цифровые технологии "умными";
- облачного хранения и структурирования информации для сбора и организации различных форм данных;
- связи, охватывающей весь мир, благодаря высокоскоростной передаче данных;
- AR / VR для просмотра и взаимодействия с цифровыми артефактами;
- зрения – универсальных датчиков для визуализации физического мира;
- аддитивного производства для непосредственного создания физических воплощений цифровых концепций;
- автоматизации и роботов, взаимодействующих с физическим миром;
- игровых технологий для рендеринга, физических движков и массивных мультиагентных сред;
- блокчейна и NFT для подтверждения прав собственности на цифровые активы.

В такой среде перспективы использования цифровых двойников для цифровой трансформации логистики огромны. Они могут быть использованы для моделирования логистических процессов, оптимизации использования ресурсов и предсказания будущих событий. Цифровые двойники позволяют компаниям улучшить планирование и координацию логистических операций, снизить затраты и риски, повысить уровень обслуживания клиентов и создать более эффективные и гибкие логистические сети.

Однако осуществление цифровой трансформации в логистике с помощью цифровых двойников сопряжено со многими рисками, такими как трудности изменения организационной культуры, сложности сбора и обработки больших объемов данных, а также необходимость обновления и адаптации информационных систем. Цель статьи – выявление особенностей цифровой трансформации в логистике с использованием цифрового двойника и преимуществ, которые могут принести цифровая трансформация и цифровые двойники. Основной гипотезой данной работы является возможность выявления наиболее перспективных с экономической точки зрения подходов к цифровой трансформации логистики с использованием цифрового двойника для применения в практической деятельности предприятий.

Методология исследования основана на системном подходе, применяемом при анализе

сложных экономических систем, и использует общенаучные методы познания: анализ, сравнение, логические рассуждения, сбор фактов, синтез, а также структурный подход.

### Результаты и их обсуждение

Цифровая трансформация бизнеса стоит на повестке дня компаний из самых разных отраслей как часть глобальной тенденции, определяющей развитие экономики. Цифровизация – это новый тренд, пришедший на смену фрагментарной компьютеризации и информационным технологиям, заставляющий все большее количество компаний разрабатывать собственные цифровые бизнес-модели с использованием передовых технологий, способствуя тем самым инновациям в бизнесе и эффективному экономическому развитию.

Интенсивное применение цифровых технологий в рамках новых бизнес-моделей стимулирует ускоренное развитие науки, финансовой сферы, промышленности, логистики, торговли, связи, здравоохранения, образования и других областей. Логистика и управление системами поставок сегодня являются одной из ведущих областей, формирующих экономику будущего [11]. Цифровизация систем логистики и цепей поставок сегодня рассматривается как одна из основных составляющих развития принципиально иных инновационных отраслей, что способствует повышению устойчивости бизнеса по мере того, как потребительский спрос на товары и услуги становится все более персонализированным [12]. Она основана на использовании различных инструментов и информационных решений, таких как IoT, искусственный интеллект (ИИ), аналитика данных, облачные системы хранения и обработки данных и другие. В качестве одного из определяющих факторов цифровой трансформации в логистике выступают технологические инновации. Развитие новых технологий, таких как автоматизированные системы хранения и транспортировки, автономные транспортные средства и дроны для доставки, позволяет сократить ручной труд и повысить надежность, оперативность и экономичность логистических процессов. Цифровая трансформация логистики – это неотъемлемая часть современного бизнеса. События и технологии, описанные выше, не только формируют ландшафт цифровой логистики, но и создают основу для будущих инноваций в этой области.

Согласно статистике Pitchbook Data, 80% логистических операторов частично или полностью перешли на цифровую модель управления бизнесом в 2021 г. Из них 86% руководителей транспортных компаний еще в 2021 г. называли информационные технологии лучшим способом сокращения расходов. Сегодня число компаний, понимающих важность внедрения IT-технологий, еще выше, а среди участников, занимающих лидирующие позиции на рынке, оно приближается к 100%. С 2024 г. умные системы управления складами, отслеживания передвижения водителей-экспедиторов и монито-

ринга процесса перевозки, смогут повышать эффективность грузоперевозок до 30%, сокращая время доставки на 20-40% и снижая затраты на логистику на 15-25% [13].

Одним из важных инструментов цифровой трансформации логистики являются цифровые двойники. Цифровой двойник цепочки поставок – это точная имитационная модель существующей логистической структуры, использующая оперативные данные и информацию о состоянии своего реального прототипа для прогнозирования его дальнейшего поведения [14]. Цифровой двойник может быть использован для следующих задач [14]:

- изучение динамики цепи поставок, характеристик и особенностей происходящих в ней процессов и выявление узких мест;
- тестирование вариантов при изменении конфигурации и расширении цепи поставок;
- отслеживание рисков и тестирование устойчивости цепи к чрезвычайным ситуациям;
- планирование перевозок;
- оптимизация запасов;
- анализ финансовых потоков и расходов на

обслуживание клиентов;

- прогнозирование и тестирование работы цепи поставок на дни и недели вперед.

Таким образом, цифровой двойник позволяет изучать закономерности поведения цепи поставок, предсказывать возможные нештатные ситуации и разрабатывать план по их преодолению. По прогнозам отраслевых исследователей в течение ближайших нескольких лет рынок цифровых двойников будет ежегодно увеличиваться более чем на 38%, достигнув к 2025 г. объема в 26 млрд. долл. США.

Цифровой двойник предоставляет возможность воспроизвести объект как единое целое на основе даже ограниченных входных данных. Это открывает доступ к корректной диагностике, прогнозированию и оптимизации поведения объекта. Двойники могут быть одновременно использованы несколькими компаниями со схожими требованиями, также их можно объединить в систему. В табл. 1 приведены основные преимущества, которые может обеспечить цифровая трансформация логистики с помощью цифровых двойников.

Таблица 1 / Table 1

**Основные преимущества, которые могут принести преобразования в логистике с помощью цифровых двойников / Key Benefits that Can Come from Transforming Logistics with Digital Twins**

Преимущества / Advantages	Описание / Description
1. Повышение операционной эффективности	Цифровые технологии обеспечивают высокую степень автоматизации и оптимизации логистических процессов, а также сокращают время и ресурсы, необходимые для выполнения задач
2. Сокращение времени доставки и затрат	Цифровая трансформация повышает качество маршрутизации и планирования доставки, сокращая время доставки и стоимость транспортировки товаров
3. Улучшение общей прозрачности и надежности системы	Цифровые технологии используются для отслеживания и мониторинга движения товаров на всех этапах логистического процесса, повышая прозрачность и надежность всей системы, а также предупреждая неисправности, улучшая показатели качества и сокращая время простоя [15]
4. Совершенствование взаимодействия с клиентами и повышение качества предоставляемых услуг	Предоставление более удобных способов заказа, отслеживания и получения товаров, предоставление более точной и своевременной информации, отслеживание отправок в режиме реального времени и быстрое реагирование на изменения условий доставки, что улучшает общее впечатление от работы с клиентами и укрепляет взаимоотношения с ними
5. Оптимизация процессов	Цифровые двойники служат для анализа и оптимизации логистических процессов с выявлением узких мест и проблемных зон в цепочке поставок с последующим принятием мер по их устранению для оценки маршрутов поставок, управления запасами, улучшения связи и взаимодействия между участниками логистической сети
6. Инновационные возможности	Цифровые двойники открывают новые возможности для инноваций в логистике. Например, технологии интернета вещей могут использоваться для сбора информации о состоянии грузов, транспортных средств и складов в режиме реального времени. Это создает условия для развития методов автоматизации, внедрения искусственного интеллекта и других передовых технологий
7. Устойчивость и экоэффективность	Цифровая трансформация логистики и использование цифровых двойников способствуют повышению устойчивости и экологической эффективности сектора. Оптимизация процессов, совершенствование маршрутов доставки и управления запасами позволяют сократить время и стоимость транспортировки, уменьшить выбросы загрязняющих веществ и оптимизировать использование ресурсов. Устойчивость цепочки поставок основывается на экологических, социальных и управленческих соображениях [16]

Источник: составлено авторами на основе данных [15, 16] / Source: compiled by the authors based on [15, 16]

С помощью цифровых двойников можно добиться значительного улучшения эффективности цепочки поставок за счет оптимизации сети, про-

цессов и запасов. Типичные преимущества такой оптимизации проиллюстрированы [17] и представлены в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

**Изменения экономических показателей от внедрения цифровых двойников в логистике / Changes in Economic Performance from the Implementation of Digital Twins in Logistics**

Прямая экономия на стоимости обслуживания / Direct Savings on Service Costs	Эксплуатационные расходы / Operating Costs	Транспортные расходы / Transportation Costs	Машинное время / Machine Hours	Пропускная способность / Throughput capacity
↑ 10%	↓ 40%	↓ 48%	↓ 36%	↑ 75%

Источник: составлено авторами на основе данных [17] / Source: compiled by the authors based on [17]

Многие технологические компании обращают внимание на данное перспективное направление. Широкий спектр базовых технологий, необходимых для цифровых двойников, побуждает множество компаний вступать в этот рынок, включая такие крупные технологические корпорации, как SAP, Microsoft и IBM. Эти организации могут использовать свои собственные возможности в области облачных вычислений, искусственного интеллекта и корпоративной безопасности для создания цифровых двойников. Кроме того, компании, специализирующиеся на системах автоматизации и промышленном оборудовании, такие как GE, Siemens и Honeywell, открывают новые возможности для промышленного оборудования и услуг на основе цифровых двойников.

Когда логистические пространства, такие как транспортные средства или склады, оснащены сложными сенсорными системами, формируется цифровой аналог этого пространства, который и становится так называемым "цифровым двойником", который, с точки зрения точности, представляет собой цифровое отражение не только физического актива, но и его функциональных характеристик. Эти цифровые двойники играют ключевую роль в обеспечении связи между реальным и цифровым мирами, предоставляя полную базу данных, основанную на информации от сенсоров [18].

Цифровой двойник цепи поставок работает не изолированно, а интегрируется с системами компании, объединяет потоки данных и хранилища информации, давая пользователям полное представление о работе цепочки поставок. Чтобы создать цифровой двойник цепи поставок, необходимо использовать гибкое, масштабируемое ПО для работы с ними, совместимое с другими информационными системами. Например, система прогнозирования с помощью цифрового двойника в компании Applied Intelligence HSA (подразделение компании Accenture) позволила повысить точность планирования операций «заказ-доставка» на 57% и сократить расходы на 20% [19]. Также было отмечено увеличение точности времени выполнения перевозок с 40% до 76% [19].

Через цифровые двойники организуется процесс наладки рационального управления физическими активами, такими как складское хозяйство,

техническое оборудование и транспортные средства, что приводит к росту полезного использования ресурсов и минимизации издержек. Так, например, цифровой двойник, созданный в AnyLogic, непрерывно отслеживает состояние различных материальных объектов, используя данные от датчиков и виртуальных сенсоров, обеспечивая непрерывный поток информации о работе оборудования, уровне запасов и других важных параметрах. Алгоритмы оптимизации в AnyLogic используют данные цифрового двойника для эффективного распределения ресурсов. Например, система управления может оптимизировать маршруты транспорта или графики обслуживания оборудования. Модель в AnyLogic также может использоваться для прогнозирования возможных неисправностей, позволяя планировать превентивные меры по обслуживанию и минимизировать возможные задержки.

Одной из ключевых черт цифрового двойника является его способность поддерживать прямую связь с физическим объектом. Это достигается за счет использования датчиков, IoT-устройств и других технологий, собирающих данные о реальном объекте в режиме реального времени. Цифровой двойник служит не только для визуализации физического объекта, но и для передачи эксплуатационных данных в обратном направлении. Данные о воздействии на объект, его работоспособности, изменениях и условиях окружающей среды активно обновляют виртуальную модель.

Обмен данными между логистической системой и ее цифровым двойником можно охарактеризовать тремя признаками [20]:

1. Двухнаправленность: обмен данными осуществляется в обоих направлениях, таким образом, изменения в состоянии логистической системы приводят к изменению состояния цифровой модели. Аналогичным образом, знания, полученные с помощью цифровой модели, приводят к действиям или принятию решений в логистической системе.

2. Своевременность: обмен информацией происходит регулярно в установленные сроки. Конкретная частота определяется целью, поэтому необходимость в постоянном обновлении информации в режиме реального времени не является обязательным условием для цифрового двойника,

если этого не требует цель.

3. Долгосрочность: обмен данными и, следовательно, срок службы цифрового двойника рассчитаны на непрерывное и долгосрочное использование, таким образом, цифровые имитационные модели, созданные в рамках проектной деятельности или для одноразового использования, явно не должны считаться цифровым двойником.

Областью применения цифрового двойника логистики обычно является логистическая система или сеть, но границы различных логистических систем могут сильно различаться. Поэтому область применения цифрового двойника также может зависеть в зависимости от того, изучается ли вся цепочка создания стоимости или только ее часть. Следуя нисходящему подходу, возможны различные области применения [20]:

- сетевой уровень: ЦД сети создания ценности с участием многих заинтересованных сторон;
- уровень объекта: ЦД логистического объекта (склады, производственные помещения и т.д.);
- уровень активов: ЦД логистического актива (грузовые автомобили, вилочные погрузчики и т.д.).

Несмотря на впечатляющий потенциал, взаимодействие между физическими объектами и их цифровыми аналогами сопряжено со множеством проблем. Особого внимания и решений требуют вопросы безопасности, защиты данных и необходимости стандартизации. Такая интерактивность становится неотъемлемой частью промышленной эволюции, обогащая возможности организации контроля и управления физическими объектами и создавая условия для появления новаторских решений в различных областях экономики. В долгосрочной перспективе ожидается, что цифровые двойники станут благоприятным фактором роста и развития, выполняя ведущую роль в формировании будущего технологического ландшафта.

В настоящее время реализация цифровой трансформации логистики и использование цифровых двойников в этом процессе сталкиваются с определенными барьерами. Вот некоторые из них:

- сложность данных: цифровые двойники требуют больших объемов данных для достоверного представления объектов и процессов, поэтому сбор, агрегирование и обработка таких данных могут потребовать серьезных затрат ресурсов;
- интеграция систем: логистическая сеть состоит из множества различных систем и устройств, таких как системы управления складами, системы мониторинга транспорта, и интеграция всех этих систем с цифровыми двойниками может быть достаточно сложной задачей, требующей согласования различных протоколов и интерфейсов;
- конфиденциальность и безопасность данных: цифровые двойники включают в себя

множество данных о реальных объектах и процессах, и их сбор и хранение могут вызывать обоснованные вопросы о конфиденциальности и безопасности данных, поэтому защита этих данных от несанкционированного доступа и злоупотреблений является важным аспектом цифровой трансформации логистики.

Для преодоления этих преград предлагается использовать следующие подходы:

1. Постепенная реализация. Несмотря на наличие необходимых технологий, трансформация организаций в сторону более глубокой цифровизации требует времени для перестройки восприятия сотрудников в отношении цифровых технологий и корректировки уже устоявшихся представлений о существующих процессах. Цифровую трансформацию логистики и использование цифровых двойников удобнее реализовывать поэтапно. Это поможет компаниям опробовать и оценить эффективность этих решений, минимизировать риски и затраты, принимая во внимание уровень цифровой зрелости компании [21].

2. Партнерство и сотрудничество. Сотрудничество с другими компаниями, специализирующимися на разработке и реализации цифровых решений, может помочь в преодолении сложностей с обработкой данных, интеграцией систем и обеспечением безопасности данных. Следует при этом учитывать, что сбор данных не является основной задачей в логистике – решающим фактором является то, как эти данные обрабатываются дальше, чтобы обеспечить максимальную добавленную стоимость [22].

3. Обучение и развитие персонала. Цифровая трансформация логистики предполагает наличие квалифицированного и обученного персонала. Изучение менеджментом компаний нового цифрового инструментария, понимание потенциала цифровых технологий для развития бизнеса и их применение для трансформации бизнес-моделей и бизнес-процессов компании является необходимым условием для обеспечения конкурентного развития в современной бизнес-среде. Если говорить об инновационном развитии, то в организации в рамках системного подхода должно осуществляться персонализированное обучение, которое может внедряться на постоянной основе и стать принципиально новым инструментом, позволяющим регулярно выявлять индивидуальные навыки сотрудников и формировать программы обучения и развития на основе обратной связи и анализа получаемых результатов.

Следует отметить, что цифровые двойники могут значительно повысить качество управленческих решений при использовании многокритериальной оптимизации и анализа чувствительности этих критериев ко многим факторам [23], что особенно важно для поиска эффективных решений в динамическом режиме.

## Заключение

Цифровизация – одна из главных тенденций в логистике, которая все более активно влияет на все аспекты логистической деятельности, от управления цепями поставок до обслуживания клиентов. Цифровые двойники зарекомендовали себя как мощный инструмент, который можно использовать для моделирования и анализа логистических процессов. Цифровые двойники позволяют логистическим компаниям повысить свою эффективность, снизить риски и улучшить обслуживание клиентов. Показано, что усилия, вложенные в их реализацию, в перспективе могут значительно улучшить эффективность и конкурентоспособность компаний в современной цифровой экономике. Однако для того, чтобы потенциал цифровых двойников был полноценно реализован, компаниям необходимо добиться гораздо большего прогресса в цифровизации своего бизнеса в целом. Для работы и успешного развития цифровых двойников требуется довольно высокий уровень цифровой зрелости, без которого необходимой инфраструктуры и доступа к данным просто не будет. Сосредоточение внимания на существенных инвестициях в правильные цифровые возможности в сочетании с вниманием к ключевым факторам, необходимым для успешной цифровизации, будет особенно важно для компаний, которые хотят по-настоящему извлечь выгоду из цифровых двойников для продвижения своего бизнеса в ближайшие годы. Предприятия, которые смогут рационально воспользоваться такими решениями, добьются конкурентного преимущества и смогут значительно преуспеть в будущем.

Направления дальнейших исследований должны быть связаны с анализом успешного опыта реализации цифровой трансформации логистики с использованием цифровых двойников и предложением фреймворков для оптимизации усилий и затрат при их внедрении.

## Вклад авторов

Авторы внесли равный вклад в проведение исследования: сбор и анализ материала; определение целей и методов исследования; формулирование и научное обоснование выводов, оформление ключевых результатов исследования в виде статьи.

## Библиография

- [1] Ghisetti C., Montresor S. On the adoption of circular economy practices by small and medium-size enterprises (SMEs): Does “financing-as-usual” still matter? // *Journal of Evolutionary Economics*. 2020. Vol. 30(11). Pp. 559-586. (На англ.). DOI: 10.1007/s00191-019-00651-w
- [2] Измайлов М.К. Изменение ценностей и ориентиров управления промышленными предприятиями в рамках цифровой трансформации // *BENEFICIUM*. 2022. Том 4. № 45. С. 51-58. DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2022.4(45).51-58
- [3] Rodrigue J., Notteboom T. Transportation and economic development. In book: *The geography of transport systems* (5th ed.). Publisher: Routledge, 2020. 480 p. (На англ.).
- [4] Башмаков Д.В. Трансформация бизнеса в условиях развития технологий интернета вещей // *BENEFICIUM*. 2022. Том 3. № 44. С. 6-13. DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2022.3(44).6-13
- [5] Aronow S., Ennis K., Romano J. Login Page (2018). Gartner. (На англ.). URL: <https://www.gartner.com/document/3875506?ref=solrAll&refval=212943992&qid>. (дата обращения 17.01.2024).
- [6] Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с.
- [7] Moshood T., Nawanir G., Sorooshian S., Okfalisa O. Digital Twins Driven Supply Chain Visibility within Logistics: A New Paradigm for Future Logistics // *Applied System Innovation*. 2021. Vol. 4(29). Pp. 1-25. (На англ.). DOI: 10.3390/asi4020029
- [8] Kajba M., Jereb B., Obrecht M. Considering IT Trends for Modelling Investments in Supply Chains by Prioritising Digital Twins // *Processes*. 2023. Vol. 11(262). Pp. 1-25. (На англ.). DOI: 10.3390/pr11010262
- [9] Lu Y., Liu C., Wang K., Huang H., Xu X. Digital Twin-driven Smart Manufacturing: Connotation, Reference Model, Applications and Research Issues // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2020. Vol. 61. 101837. (На англ.). DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101837
- [10] Schmitt L., Copps D. The Business of Digital Twins. In book: *The Digital Twin*. Publisher: Springer Nature Switzerland AG, 2023. 1220 p. (На англ.).
- [11] Дунаев О.Н. Логистика – современный метод управления в индустрии 4.0 // *Гайдаровский форум-2017, «Россия и мир: выбор приоритетов», секция «Управление изменениями; глобальные цепи поставок и индустрия 4.0»*. РАГС. 2017.
- [12] Комиссаров М.А., Шульженко Т.Г. Методы делового администрирования в условиях цифровизации управления логистической деятельностью // *Вестник факультета управления СПбГЭУ*. 2018. №3. С. 321-326.
- [13] Цифровизация логистики: тренды и перспективы 2023 года (2023). Пресс-служба компании «Евро-ТрансЭкспедиция». URL: <https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=171531> (дата обращения 17.01.2024).
- [14] Цифровые двойники цепей поставок (2023). anyLogistics. URL: <https://www.anylogistic.ru/supply-chain-digital-twins/> (дата обращения 17.01.2024).
- [15] Kamble S.S., Gunasekaran A., Parekh H., Mani V., Belhadi A., Sharma R. Digital Twin for Sustainable Manufacturing Supply Chains: Current Trends, Future Perspectives, and an Implementation Framework // *Technological Forecasting and Social Change*. 2022. Vol. 176. 121448. (На англ.). DOI: 10.1016/j.techfore.2021.121448
- [16] Zhang M., Yang W., Zhao Z., Pratap S., Wu B., Huang G.Q. Is Digital Twin a Better Solution to Improve ESG Evaluation for Vaccine Logistics Supply Chain: an Evolutionary Game Analysis // *Operations Management Research*. 2023. Vol. 16(3). Pp. 1-23. (На англ.). DOI: 10.1007/s12063-023-00385w
- [17] Blanchet M. The Dimension of Markets for the Digital Twin. In book: *The Digital Twin*. Publisher: Springer Nature Switzerland AG, 2023. 1220 p. (На англ.). DOI: 10.1007/978-3-031-21343-4\_3
- [18] Tao F., Cheng J., Qi Q., Zhang M., Zhang H., Sui F. Digital Twin-driven Product Design, Manufacturing and Service with Big Data // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018. Vol. 94(4). Pp. 3563-3576. (На англ.). DOI: 10.1007/s00170-017-0233-1
- [19] Прогнозирование полного цикла доставки заказов с помощью цифрового двойника (2023). Anylogic. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/case-studies/order-to-delivery-forecasting-with-a-smart->

- digital-twin/ (дата обращения 17.01.2024).
- [20] Gerlach B., Zarnitz S., Nitsche B., Straube F. Digital Supply Chain Twins—Conceptual Clarification, Use Cases and Benefits // *Logistics*. 2021. Vol. 5(86). Pp. 1-25. (На англ.). DOI: 10.3390/logistics5040086
- [21] Абрамов В.И., Борзов А.В., Семенов К.Ю. Теоретико-методологический анализ моделей цифровой зрелости для российских компаний // *Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством*. 2021. Том 4. № 50. С. 42-51. DOI: 10.6060/ivecofin.2021504.566
- [22] Belfadel A., Horl S., Tapia R.J., Puchinger J. Towards a digital twin framework for adaptive last mile city logistics // In 2021 6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies. 2021. Pp. 1-6. (На англ.). DOI: 10.23919/SpliTech52315.20 21.9566324
- [23] Столяров А.Д., Гордеев В. В., Абрамов В. И. Методика поиска многокритериальных решений на основе цифровых двойников // *Экономика и управление*. 2023. Том 29. № 7. С. 851-858. DOI: 10.35854/1998-1627-2023-7-851-858. EDN BWERQI
- ### References
- [1] Ghisetti C., Montresor S. On the adoption of circular economy practices by small and medium-size enterprises (SMEs): Does “financing-as-usual” still matter? // *Journal of Evolutionary Economics*. 2020. Vol. 30(11). Pp. 559-586. DOI: 10.1007/s00191-019-00651-w
- [2] Izmaylov M.K. Changing Values and Guidelines for the Management of Industrial Enterprises in the Framework of Digital Transformation // *BENEFICIUM*. 2022. Vol. 4(45). Pp. 51-58. (In Russ.). DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2022.4(45).51-58
- [3] Rodrigue J., Notteboom T. Transportation and economic development. In book: *The geography of transport systems* (5th ed.). Publisher: Routledge, 2020. 480 p.
- [4] Bashmakov D.V. Business Transformation in the Context of the Development of Internet of Things (IoT) Technologies // *BENEFICIUM*. 2022. Vol. 3(44). Pp. 6-13. (In Russ.). DOI: 10.34680/BENEFICIUM.2022.3(44).6-13
- [5] Aronow S., Ennis K., Romano J. Login Page (2018). Gartner. URL: <https://www.gartner.com/document/3875506?ref=solrAll&refval=212943992&qid>. (accessed on 17.01.2024).
- [6] Prohorov A., Lysachev M. Cifrovoy dvojniki. Analiz, trendy, mirovoj opyt [Digital twin. Analysis, trends, global experience]. M.: OOO «AL'jansPrint», 2020. 401 p. (In Russ.).
- [7] Moshood T., Nawanir G., Sorooshian S., Okfalisa O. Digital Twins Driven Supply Chain Visibility within Logistics: A New Paradigm for Future Logistics // *Applied System Innovation*. 2021. Vol. 4(29). Pp. 1-25. DOI: 10.3390/asi4020029
- [8] Kajba M., Jereb B., Obrecht M. Considering IT Trends for Modelling Investments in Supply Chains by Prioritising Digital Twins // *Processes*. 2023. Vol. 11(262). Pp. 1-25. DOI: 10.3390/pr11010262
- [9] Lu Y., Liu C., Wang K., Huang H., Xu X. Digital Twin-driven Smart Manufacturing: Connotation, Reference Model, Applications and Research Issues // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2020. Vol. 61. 101837. DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101837
- [10] Schmitt L., Copps D. The Business of Digital Twins. In book: *The Digital Twin*. Publisher: Springer Nature Switzerland AG, 2023. 1220 p.
- [11] Dunaev O.N. Logistika – sovremennyy metod upravleniya v industrii 4.0 [Logistics - the modern method of management in Industry 4.0] // *Gajdarovskij forum-2017, “Rossija i mir: vybor prioritetov”, sekcija “Upravlenie izmenenijami; global'nye cepi postavok i industrija 4.0”* [Gaidar Forum-2017, “Russia and the World: Choosing Priorities”, section “Change Management; Global Supply Chains and Industry 4.0”]. RAGS. 2017. (In Russ.).
- [12] Komissarov M.A., Shulzhenko T.G. Methods of Business Administration in Terms of Digitalization of the Logistic Activity Management // *Bulletin of the Faculty of Management of SPbSEU*. 2018. Vol. 3. Pp. 321-326. (In Russ.).
- [13] Cifrovizacija logistiki: trendy i perspektivy 2023 goda [Digitalization of logistics: trends and prospects for 2023] (2023). Press-sluzhba kompanii “EuroTransEkspediciya” [EuroTransExpedition Press Service]. (In Russ.). URL: <https://www.novostititkanala.ru/news/detail.php?ID=171531> (accessed on 17.01.2024).
- [14] Cifrovye dvojniki cepej postavok [Digital twin supply chains] (2023). anyLogistics. (In Russ.). URL: <https://www.anylogistix.ru/supply-chain-digital-twins/> (accessed on 17.01.2024).
- [15] Kamble S.S., Gunasekaran A., Parekh H., Mani V., Belhadi A., Sharma R. Digital Twin for Sustainable Manufacturing Supply Chains: Current Trends, Future Perspectives, and an Implementation Framework // *Technological Forecasting and Social Change*. 2022. Vol. 176. 121448. DOI: 10.1016/j.techfore.2021.121448
- [16] Zhang M., Yang W., Zhao Z., Pratap S., Wu B., Huang G.Q. Is Digital Twin a Better Solution to Improve ESG Evaluation for Vaccine Logistics Supply Chain: an Evolutionary Game Analysis // *Operations Management Research*. 2023. Vol. 16(3). Pp. 1-23. DOI: 10.1007/s12063-023-00385w
- [17] Blanchet M. The Dimension of Markets for the Digital Twin. In book: *The Digital Twin*. Publisher: Springer Nature Switzerland AG, 2023. 1220 p. DOI: 10.1007/978-3-031-21343-4\_3
- [18] Tao F., Cheng J., Qi Q., Zhang M., Zhang H., Sui F. Digital Twin-driven Product Design, Manufacturing and Service with Big Data // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018. Vol. 94(4). Pp. 3563-3576. DOI: 10.1007/s00170-017-0233-1
- [19] Prognozirovanie polnogo cikla dostavki zakazov s pomoshch'yu cifrovogo dvojnika [Predicting full-cycle order delivery using a digital twin] (2023). Anylogic. (In Russ.). URL: <https://www.anylogic.ru/resources/case-studies/order-to-delivery-forecasting-with-a-smart-digital-twin/> (accessed on 17.01.2024).
- [20] Gerlach B., Zarnitz S., Nitsche B., Straube F. Digital Supply Chain Twins—Conceptual Clarification, Use Cases and Benefits // *Logistics*. 2021. Vol. 5(86). Pp. 1-25. DOI: 10.3390/logistics5040086
- [21] Abramov V.I., Borzov A.V., Semenov K.Yu. Theoretical and Methodological Analysis of Digital Maturity Models for Russian Companies // *Ivecofin*. 2021. Vol. 4(50). Pp. 42-51. (In Russ.). DOI: 10.6060/ivecofin.2021504.566
- [22] Belfadel A., Horl S., Tapia R.J., Puchinger J. Towards a digital twin framework for adaptive last mile city logistics // In 2021 6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies. 2021. Pp. 1-6. DOI: 10.23919/SpliTech52315.20 21.9566324
- [23] Stolyarov A.D., Gordееv V.V., Abramov V.I. Methodology for Searching Multi-criteria Solutions Based on Digital Twins // *Economics and Management*. 2023. Vol. 29(7). Pp. 851-858. (In Russ.). DOI: 10.35854/1998-1627-2023-7-851-858

**Информация об авторах / About the Authors**

**Александр Дмитриевич Столяров** – научный сотрудник, Институт прикладных информационных технологий, Москва, Россия / **Alexander D. Stolyarov** – Research Associate, Institute of Applied Information Technologies, Moscow, Russia

E-mail: mr.alexst@gmail.com

SPIN РИНЦ 5180-2461

ORCID 0000-0001-8916-6709

**Альфия Менлигалиевна Файзуллина** – магистрант, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия / **Alfiya M. Faizullina** – Graduate Student, National Research Nuclear University MPhI, Moscow, Russia

E-mail: faizullinaAM@ulba.kz

SPIN РИНЦ 7611-3631

ORCID 0009-0000-7753-1924

**Виктор Иванович Абрамов** – д-р экон. наук, доцент; профессор, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия / **Viktor I. Abramov** – Dr. Sci. (Economics), Docent; Professor, National Research Nuclear University MPhI, Moscow, Russia

E-mail: viabramov@mephi.ru

SPIN РИНЦ 9180-0782

ORCID 0000-0002-9471-9408

ResearcherID AEL-7284-2022

Scopus Author ID 56005129700

Дата поступления статьи: 13 марта 2024  
Принято решение о публикации: 31 мая 2024

Received: March 13, 2024  
Accepted: May 31, 2024