

## Особенности и перспективы применения цифровых двойников в транспортно-логистических системах промышленных предприятий

С.С. Илюхина<sup>1</sup>, С.Н. Гончаренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,  
Москва

**Аннотация.** Приведен обзор современных подходов к изучению цифровых двойников и дана оценка состояния их внедрения в транспортной логистике. Показаны особенности процессов формирования цифровизации, выявлены барьеры и перспективы развития цифровых двойников в транспортно-логистической сфере. Проведен анализ и систематизированы подходы к определению понятия цифрового двойника, структуры и типологии цифровых двойников в логистике. Выделены отдельные перспективные направления и звенья цепочек поставок продукции, в которых цифровые двойники внедряются особенно активно. Сделаны выводы о том, что внедрение цифровых технологий и цифровых двойников в транспортной логистике может стать эффективным инструментом ее трансформации в современных условиях, если разработка и внедрение цифровых двойников будет осуществляться в рамках цепочек поставок продукции на основе кооперации промышленных компаний между собой и смежниками, при активной поддержке государства.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, транспортно-логистические системы, цепочки поставки, интралогистика, цифровая цепочка.

В настоящее время широко развернулось внедрение цифровых технологий во многих отраслях промышленного производства, при этом в транспортно-логистических системах цифровизация имеет свои специфические особенности, обусловленные рядом факторов, специфичных для процесса перевозки продукции.

Процессы цифровизации активно идут как на уровне отраслей, так и на уровне отдельных транспортно-логистических компаний. Одним из наиболее популярных направлений развития цифровых технологий является внедрение в транспортной логистике цифровых двойников (далее ЦД), которые являются технологией-интегратором всех сквозных цифровых технологий и субтехнологий. Они обеспечивают максимальную отдачу от внедрения прорывных технологий и используются для оптимизации производственных процессов, эффективного управления ресурсами, обучения персонала. На

основе анализа данных, моделирования и прогнозирования, симуляции потенциальных сценариев развития можно не только снижать риски, но и повышать эффективность работы транспортно-логистических компаний. Последние технологические разработки и достижения в области искусственного интеллекта позволили начать их внедрять в компаниях транспортной логистики, что сделало возможной автоматизацию всех основных звеньев цепочек поставки готовой продукции и разработки оптимальных путей доставки.

Цель работы - на основе обзора теоретических подходов к изучению цифровых двойников и анализа кейсов показать особенности процессов формирования цифровизации, выявить барьеры и перспективы развития ЦД в транспортно-логистической сфере.

Несмотря на то, что понятие «цифрового двойника» в научный оборот было введено более двадцати лет назад, в академических кругах до сих пор этот термин трактуется по-разному [1]. Понятие «цифровой двойник» связывают с программами, моделирующими предметы и результаты деятельности [2, 3], способными проводить мониторинг оборудования и процесс производства, активно взаимодействовать с внешней средой компании [4, 5]. Существуют комплексные определения ЦД, отражающие в целом все основные и вспомогательные процессы, осуществляемые на предприятии или в компании. Также имеются временные различия: одни исследователи связывают ЦД с текущими характеристиками физического объекта, другие считают, что ЦД отражает будущее состояние описываемого физического объекта или системы [6, 7].

Наибольшее распространение получило определение цифрового двойника, в следующей редакции «...интегрированное мультифизическое, многомасштабное, вероятностное моделирование сложного продукта, использующее наилучшие доступные физические модели для отражения

---

срока службы соответствующего физического объекта» [1]. Более поздние интерпретации термина «цифровой двойник» определили его как цифровое представление физического элемента или сборки его с использованием интегрированных симуляций и сервисных данных, содержащее информацию из нескольких источников на протяжении всего жизненного цикла продукта [8].

ЦД - это не просто реалистичная виртуальная модель физического объекта или процесса, обновляемая в реальном времени, сколько инструмент управления этим объектом, которое обеспечивается с помощью различных цифровых технологий: сети датчиков, технологий сбора и анализа данных, интернета вещей или, технологий поддержки принятия решений, цифровых цепочек с MES, PLM, ERP и т.д. Благодаря цифровым технологиям облегчается доступ и повышается эффективность управления данными, расширяется круг оцениваемых прогнозов и допустимых сценариев развития физического объекта, само принимаемое решение становится более объективным и обоснованным, повышается уровень решаемых задач, ускоряется процесс принятия решений [9,10].

Характер ЦД и сложность его компонент во многом зависят от характера, уровня, степени зрелости, интероперабельности используемых цифровых технологий. Именно поэтому наибольшее распространение получили типологии ЦД, в которых в качестве критериев выделения авторы берут степень зрелости цифровых технологий, масштаб и сложность решаемых задач. Так в транспортной и логистической сферах ключевыми направлениями создания ЦД являются снижение общих и временных затрат, улучшение обслуживания клиентов. Физическим объектом здесь выступают процессы управления маршрутами, транспортными средствами и состояние перемещаемых грузов в реальном времени, они же наиболее

---

интероперабельны (функционально совместимы) с цифровыми технологиями управления.

Так, одним из наиболее готовых для внедрения ЦД в мире является использование роботизированных и автономных интеллектуальных транспортных систем перевозки грузов, машин, механизмов и оборудования в промышленном секторе экономики. Их популярность объясняется способностью увеличить производительность труда, снизить количество несчастных случаев и эксплуатационных расходов за счет сокращения простоев, увеличения срока службы машин, снижения расхода топлива.

Глобализация и резко возросшая на рубеже веков сложность продуктов, технологий, усиление технологической и межфирменной кооперации одновременно с географическим и функциональным разделением производственного цикла привели к формированию распределенной (сетевой) модели транспортно-логистического процесса. В такой постановке актуально рассмотреть различные варианты формирования цепочки поставок продукции и производственные сетевые модели, представляющие собой конгломерат разнородных промышленных и транспортно-логистических компаний и их обособленных подразделений, обеспечивающий полный набор действий, который необходим для обеспечения поставок сырья и промежуточных компонентов и организации сбыта.

В рамках цепочки доставки продукции процесс оказания транспортных услуг разделен на узкоспециализированные операции (бизнес-задачи) и рассредоточен среди множества независимых компаний поставщиков и субпоставщиков. Каждая из компаний находится на разных стадиях фрагментированного производственного цикла, которые соответствуют конкретным звеньям цепочки.

Механизм функционирования цепочки доставки продукции имеет сложный системный характер, который можно представить в виде нескольких базовых структурных компонентов: основные производственной цепочки, отражающей организацию процесса производства и логистики; организационной цепочки, отражающей организационное взаимодействие во времени пространстве процесса доставки продукции с распределением соответствующих зон ответственности; цепочки добавленной стоимости, которые показывают центры формирования затрат и прибыли. Выделенные структурные компоненты описывает все ключевые типы игроков транспортно-логистического рынка, вовлеченных в процесс перевозки продукта [11].

Таким образом необходимо отметить, что в настоящее время логистика с каждым очередным витком цифровизации приобретает все большее значение для функционирования как производственных, так и сервисных предприятий. Грамотное применение цифровых технологий и классических логистических подходов помогает выполнять основные задачи производства на высоком уровне, оптимизируя затраты и одновременно повышая производительность перевозок продукции [12]. Поэтому активное применение цифровых технологий и совершенствование логистических подходов на сегодняшний день являются неотъемлемыми частями эффективного функционирования промышленного предприятия.

Наибольший интерес в настоящее время вызывают процессы интралогистической структуры, как одни из самых ресурсоемких, обеспечивающих эффективное использование материальных ресурсов, оптимизацию запасов материальных ресурсов, организацию процессов ускорения оборачиваемости оборотного капитала, а также уменьшение длительности производственного цикла.

Кроме того, интралогистика обеспечивает контроль и управление уровнем запасов материальных ресурсов, незавершенного производства и готовой продукции на складах производственного предприятия, а также контроль качества составляющих материального потока и оптимизацию работы внутреннего транспорта.

Среди возможных проблем и узких мест внутренней логистики промышленного предприятия можно обозначить следующие укрупненные группы: плохое состояние складов и складских ресурсов (нарушение условий хранения товарно-материальных ценностей (далее ТМЦ), отсутствие или плохое состояние подъездных путей, нехватки или плохое состояние резервуаров горюче-смазочных материалов и т.п.); недостаточное использование линейного персонала и недостаточная автоматизация рабочих мест (неэффективное использование складских площадей, несоответствие оборудования типам хранимых ТМЦ, отсутствие зонирования, неоптимальная топология складов и т.п.); совместное хранение ТМЦ с высоким и низким оборотами (отсутствие круглосуточной работы склада при круглосуточной работе производства, недостаточный уровень знаний персонала по регламентам и работе в системе САП, отсутствие или нестабильная работа существующей информационной системы и т.п.); неэффективная организация процессов долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного планирования (некорректное планирование потребности в ТМЦ со стороны заявителей, высокий процент аварийных заявок, отсутствие информации о времени и факте поставок и отгрузок, несвоевременное создание потребностей, частые корректировки даже плановых заказов и т.п.); недостаточная эффективность использования автотранспорта/недостаточность транспортных средств (далее ТС) (долгие простои ТС на КПП заезде и погрузке/разгрузке, использование ТС, не предназначенных для выбранных типов работ и т.п.); неэффективное

---

управление логистическими затратами и их планирование (отсутствие оперативной корректировки бюджета складского хозяйства на автотранспортные услуги при изменении тарифов, отсутствие детализированного учета затрат).

Ключом к оптимизации может оказаться комплексное цифровое логистическое решение, закрывающее вопросы управления автопарком, заявками и интеграциями с внешними системами.

Цифровизация внутренних бизнес-процессов предприятия предполагает автоматизацию складской логистики и управления производством [13]. Для автоматизации складов применяются системы управления складами (WMS - Warehouse Management System), и для автоматизации управления производством – системы управления производством (MES - Manufacturing Execution System).

В такой постановке разрабатываемая система цифрового двойника должна обеспечивать работу нескольких физических складов, объединенных в складские участки. В рамках каждого склада система должна поддерживать зонирование по назначениям складских ячеек: ворота, экспедиция, хранение, смешанного назначения. Система должна поддерживать работу с типами грузов: насыпными, наливными, мерными, тарно-штучными, комплектными, а также иметь возможность получать, обрабатывать, отображать, хранить данные на уровне каждой товарной позиции в накладной (артикул, наименование, количество, вес, кол-во паллет, цена, страна производства, номер партии). В процессе эксплуатации возможно возникнет необходимость интеграции системы управления транспортными перевозками (TMS - Transportation Management System), реализующей следующие функции: передача заказов на перевозку в TMS; получение данных о перевозке; передача информации о готовности заказа; передача фактических событий прибытия, приемки, убытия, отгрузки.

---

## Литература

1. Баденко В.Л., Большаков Н.С., Федотов А.А., Ядыкин В.К. Цифровые двойники сложных технических систем в индустрии 4.0: базовые подходы // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13. № 1. С. 20-30.
2. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2020. 401 с.
3. Мадатов Д.А., Борисов В.В., Сивков В.С. Будущее технологии цифровых двойников // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2025. Т. 10. № 1(51). С. 10-15.
4. Grieves M., Vickers. J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches. 2017. P. 85-113.
5. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A Review of The Roles of Digital Twin // CPS-Based Production Systems. Procedia Manufacturing. 2017. № 11. P. 939-948.
6. Rasheed A., San O., Kvamsdal T. Digital Twin: Values, Challenges and Enablers from a Modeling Perspective // IEEE Access. 2020. №8. P. 21980-22012.
7. Ghahramanieisalou M., Sattarvand J. Digital Twins and the Mining Industry // Technology in Mining Industry. 2024. P. 1-30.
8. 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. С. 5-16.
9. Абрамов В.И. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14. № 3. С. 691-716.

10. Мадатов Д.А., Борисов В.В., Сивков В.С. Будущее технологии цифровых двойников // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2025. Т. 10. № 1(51) С. 10-15.
11. Константинов Р.В. Проектирование оптимальной складской сети // Инженерный вестник Дона. 2011. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/581.
12. Абрамов В.И., Абрамов О.В., Поливанов К.В., Семенков К.Ю. Особенности создания цифровых двойников управления логистикой предприятий // Новое в экономической кибернетике. 2024. № 2. С 52-64.
13. Череповская Ю.А. Цифровые двойники для управления рисками цепей поставок в условиях пандемии COVID-19 // Инженерный вестник Дона. 2021. №7. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_48\_\_7\_Cherepovskaya.doc.pdf\_99a6f2d606.pdf.

### References

1. Badenko V.L., Bol'shakov N.S., Fedotov A.A., Yadykin V.K. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki. 2020. V. 13. № 1. pp. 20-30.
2. Prohorov A., Lysachev M. Cifrovoj dvojn timer. Analiz, trendy, mirovoj opyt [Digital twin. Analysis, trends, global experience]. M.: Al'yansPrint, 2020. 401 p.
3. Madatov D.A., Borisov V.V., Sivkov V.S. Mezhdunarodnyj zhurnal informacionnyh tekhnologij i energoeffektivnosti. 2025. V. 10. № 1(51). pp. 10-15.
4. Grieves M., Vickers. J. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches. 2017. pp. 85-113.
5. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A CPS-Based Production Systems. Procedia Manufacturing. 2017. № 11. pp. 939-948.
6. Rasheed A., San O., Kvamsdal T. IEEE Access. 2020. №8. pp. 21980-22012.



7. Ghahramanieisalou M., Sattarvand J. Technology in Mining Industry. 2024. pp. 1-30.
8. Stolyarov A.D., Gordeev V.V., Abramov V.I. Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve. 2024. № 4. pp. 5-16.
9. Abramov V.I. Voprosy innovacionnoj ekonomiki. 2024. V. 14. № 3. pp. 691-716.
10. Madatov D.A., Borisov V.V., Sivkov V.S. Mezhdunarodnyj zhurnal informacionnyh tekhnologij i energoeffektivnosti. 2025. V. 10. № 1(51). pp. 10-15.
11. Konstantinov R.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/581](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/581).
12. Abramov V.I., Abramov O.V., Polivanov K.V., Semenov K.Yu. Novoe v ekonomicheskoy kibernetike. 2024. № 2. pp. 52-64.
13. Cherepovskaya Yu.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №7. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_48\\_\\_7\\_Cherepovskaya.doc.pdf\\_99a6f2d606.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_48__7_Cherepovskaya.doc.pdf_99a6f2d606.pdf).

**Дата поступления: 6.05.2025**

**Дата публикации: 25.06.2025**