

# МИРОВЫЕ ПРАКТИКИ РАЗРАБОТОК ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СФЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

## GLOBAL PRACTICES OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN THE FIELD OF RAILWAY TRANSPORT

**T. Voronin  
D. Dolbunova  
E. Kovrova  
E. Shitov**

*Summary.* This article is devoted to the use of digital twin in transport systems. The examples of digital twin projects from various countries, that carried out in order to optimize the movement of trains, repair work and maintenance of tracks, are highlighted. A number of innovative solutions used in Russian transport projects for creating digital models are presented. Recommendations for the implementation of digital twin technologies in railway systems are given.

*Keywords:* digital twins, artificial intelligence, railway systems, optimization, predictive analytics.

**Воронин Тимофей Валерьевич**

Специалист, Центр хранения и анализа больших данных, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
voronin@digital.msu.ru

**Долбунова Дарья Дмитриевна**

Ведущий специалист, Центр хранения и анализа больших данных, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
daria.dolbunova@digital.msu.ru

**Коврова Екатерина Сергеевна**

Ведущий специалист, Центр хранения и анализа больших данных, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
lubomirova.ek@digital.msu.ru

**Шитов Егор Александрович**

Ведущий специалист, Центр хранения и анализа больших данных, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва  
egor.shitov@digital.msu.ru

*Аннотация.* Настоящая статья посвящена применению технологий цифровых двойников для развития транспортных систем. Приведены основные примеры проектов различных стран по внедрению технологий цифровых двойников с целью оптимизации движения поездов, ремонтных работ и технического обслуживания путей. Рассмотрен ряд инновационных решений, используемых в российских транспортных проектах при создании цифровых моделей. Даны рекомендации по внедрению технологий цифровых двойников в железнодорожные системы.

*Ключевые слова:* цифровые двойники, искусственный интеллект, железнодорожные системы, оптимизация, предиктивная аналитика.

**В** настоящее время мировое сообщество активно внедряет различные инновационные технологии в транспортную систему с целью повышения эффективности, безопасности и скорости перевозок. Технологии цифровых двойников позволяют тестировать инженерные решения в виртуальной среде, чтобы избежать разрушения опытных образцов или возникновения аварий с человеческими жертвами. Цифровые двойники также позволяют сократить расходы на внедрение новых технологий.

Актуальность использования технологий цифровых двойников обуславливается рядом факторов.

Во-первых, развитие цифровизации позволяет проводить наблюдения за поведением изучаемых объектов без необходимости проведения физических тестов или испытаний, требующих большого объема средств и дорогостоящего оборудования.

Во-вторых, внедрение технологий цифровых двойников позволяет сократить выбросы вредных для окружающей среды веществ, включая углекислый газ, при тестировании новых моделей транспорта, что соответствует решению такой глобальной проблемы как изменение климата.

Более того, использование цифровых двойников позволяет изучить поведение тестируемого изобретения или конструкции при отсутствии необходимых условий, включая географические особенности и внешние факторы воздействия, требуемые для физических экспериментов и тестовых запусков в режиме возникновения внештатных и критических ситуаций.

Целью данного исследования является изучение результатов применения технологий цифровых двойников с целью развития транспортных систем и повышения их эффективности и безопасности.

Цифровой двойник представляет собой совокупность современных технологий, в том числе больших данных, искусственного интеллекта, машинного обучения и интернета вещей, которые применяются для предиктивного анализа любой системы или оборудования [1].

Концепция цифровых двойников появилась в 2002 г., однако подобные технологии применялись с второй трети XX века. Примером служит создание системы для моделирования полета космического корабля «Аполлон-13», которая позволила НАСА вернуть членов экипажа на Землю, несмотря на взрыв кислородного бака и последовавший сбой в работе топливных элементов. Тестирование сценариев дальнейшего развития событий с помощью модели «Аполлона» позволило центру управления полетами принять решение о возврате корабля [2]. В октябре 2002 г. в Мичиганском университете состоялось выступление профессора Майкла Гривза, посвященное управлению жизненным циклом продукта с помощью виртуального пространства [3]. Данное событие принято считать появлением концепции цифровых двойников, которая получила свое нынешнее название лишь в 2011 г. Ее прежними названиями были «модель зеркальных пространств» и модель «информационного зеркала» [4].

Развитие науки и необходимость применения инновационных решений в сфере пассажирских и грузовых перевозок стали причиной внедрения технологий цифровых двойников в транспортную систему.

Примером использования цифровых двойников является совместный проект компаний «Greater Anglia» (Великобритания) и «Toshiba Digital and Consulting Corporation» (Япония), внедрение которых позволило оптимизировать расписание поездов и состав маршрутов, что повысило эффективность эксплуатации объектов железнодорожной отрасли. Оптимизация движения поездов происходила за счет автоматизированного выявления потенциальных конфликтов в расписании поездов компании. Виртуальное моделирование движения составов, включая среднюю скорость на маршруте, торможение и ускорение поездов, позволило применить тестируемые изменения в реальности [5].

Использование цифровых двойников продемонстрировало эффективность во время пандемии COVID-19, ставшей причиной введения ограничений на передвижения и путешествия, а также присутствия специалистов при натурных испытаниях новых решений. В октябре 2020 г. «Network Rail» (Великобритания) использовала виртуальное моделирование для оптимизации размеров и внешнего вида вывесок на лондонском вокзале Паддингтон. Была создана 3d-модель,

которая позволила начать использование более оптимизированных указателей и информационных стендов для повышения пропускной способности вокзала, не прибегая к проведению тестов с участием пассажиров [6].

Говоря о применении цифровых двойников во Франции, необходимо отметить опыт железнодорожного оператора «SNCF Réseau». Компания с 2018 г. занимается оцифровкой данных, включая характеристики составов, протяженность маршрутов, конструкции станций и вокзалов и т.д. Реализация данного проекта осуществляется с помощью системы моделирования данных «ARIANE», позволяющей проводить виртуальные тесты движения железнодорожных составов с целью оптимизации расписания движения поездов и маршрутной сети [7].

Оператор железнодорожных дорог Италии «Ferrovie dello Stato Italiane» использует технологии цифровых двойников и искусственный интеллект для строительства новых магистралей. При сотрудничестве с итальянской инженеринговой компанией «Italferr» в 2019 г. было начато строительство высокоскоростной линии между Неаполем и Бари, на юге Италии. Применение беспилотных летательных аппаратов и цифровых двойников позволяет инженерам контролировать ход работ без необходимости присутствия на строительных площадках. Оцифровка имеющихся данных также позволяет компании проводить мониторинг действующих маршрутов с целью актуализации расписания движения поездов с возможностью внесения требуемых изменений, вызванных сезонностью пассажиропотока и другими факторами волатильности спроса [8].

Немецкий оператор железных дорог «Deutsche Bahn» совместно с международной компанией-картографическим разработчиком «HERE Technologies» в 2021 г. начали реализацию проекта по созданию цифрового двойника железной дороги. Оснащение состава датчиками для отслеживания перемещений и изменения окружающей обстановки позволяет создать виртуальную карту для организации движения высокоскоростных поездов. Использование цифрового двойника железнодорожного маршрута позволяет увеличить его пропускную способность и оптимизировать движение поездов путем запуска дополнительных составов и регулировки интервалов отправления [9].

Технология цифровых двойников применяется также и в метрополитене, например, в Монреале, Канада. В 2009 г. был запущен высокоскоростной участок «Canada Line» надземного метро, протяженность которого составляет 11,9 миль. С помощью лидара и ультразвуковых датчиков была создана точная цифровая копия всего маршрута, включая станции, запасные пути

и стрелочные переводы. Каждый элемент системы содержит информацию о материале изготовления, датах ввода в эксплуатацию и прохождения технического обслуживания, что позволяет поддерживать работоспособность маршрута и предотвращать выход из строя его отдельных составляющих. Использование цифрового двойника «Canada Line» также позволяет удаленно регулировать время отправления поездов, что повышает эффективность пассажироперевозок и помогает избежать простоя составов. Сочетание данной технологии и внедрения искусственного интеллекта значительно упрощает проведение ремонтных работ и техническое обслуживание железнодорожной линии, что повышает безопасность и увеличивает объемы перевозок [10].

Среди аналогичных российских проектов можно отметить создание цифрового двойника Куйбышевской дороги (филиал ОАО «РЖД»), протяженность которой составляет около 11 тыс. километров. Внедрением данной технологии занималось ООО «НТЦ Транссистемотехника» в 2017–2019 гг. Результатом стало создание цифровой модели сортировочных станций на данном маршруте, включая крупнейшую из них — Кинель. Внедрение двойника позволило операторам железной дороги сократить время стоянки грузовых поездов, а также ускорить формирование новых составов. Данный результат был достигнут за счет применения ряда инновационных решений.

Во-первых, сотрудники сортировочных станций начали использовать мобильного приложения, автоматически рассчитывающего время выполнения необходимых операций по объединению нескольких составов в один, разгрузки и погрузки различных грузов. Задачи для персонала отправляются оператором станции, при нарушении сроков или последовательности выполнения которых, приложение перестраивает алгоритм их выполнения.

Во-вторых, внедрение автоматизированной системы управления станциями (АСУ СТ) «Полиграф» позволило предиктивно просчитывать маршрут движения грузовых составов и бригад станций. Горизонт планирования составляет 24 часа, что позволяет заранее планировать прибытие поезда и процесс сортировки разных типов грузовых вагонов.

В-третьих, создание цифровых двойников станционных диспетчеров, операторов и дежурных по депо позволило оптимизировать процесс принятия решений и рассчитать необходимое время для выполнения конкретных задач [11].

Используя опыт внедрения цифрового двойника Куйбышевской железной дороги, ОАО «РЖД» в насто-

ящее время занимается созданием цифровой модели всей железнодорожной системы России, что позволит в значительной степени увеличить эффективность грузовых и пассажирских перевозок. Данный проект реализуется с 2021 г., позволяя ускорять принятие управленческих решений, удаленно контролировать состояние железнодорожного полотна, а также объектов инфраструктуры, внедрять новые модели вагонов и локомотивов [12].

Таким образом, в настоящее время важной тенденцией в области развития безопасности и эффективности железнодорожных систем является создание и применение цифровых двойников подвижного состава и инфраструктуры. Разработка цифровых моделей позволяет улучшить режимы эксплуатации железнодорожных путей, оптимизировать расписание и маршруты подвижного состава, управлять пассажиропотоком, что ведет сокращению издержек компаний и повышению их конкурентоспособности, а также к снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Стоит отметить, что представленные в статье разработки широко применяются в составе систем, которые предназначены для выполнения узконаправленного спектра задач и моделирования отдельных процессов. Объединение исследуемых процессов и объектов в рамках одной масштабной цифровой среды поможет компаниям контролировать развитие железнодорожной системы на всех этапах её жизненного цикла. Для создания и поддержания подобных систем необходимо использовать технологии сбора, хранения, обработки и анализа больших данных, осуществлять построение моделей и реализовывать их обучение на доступных наборах данных. Данные технологии позволят осуществлять мониторинг процессов в режиме реального времени за счет передачи большого массива данных с различных принимающих устройств.

Говоря о дальнейших перспективах внедрения технологий цифровых двойников в железнодорожные системы, важно подчеркнуть их высокую эффективность, а при использовании искусственного интеллекта — и автономность их работы, что делает возможным оперативное и эффективное принятие управленческих решений, контроль состояния инфраструктуры и внесение необходимых корректировок в расписание движения составов. Для дальнейшего внедрения цифровых двойников необходимо принять ряд мер.

Во-первых, увеличить меры государственной поддержки технологических компаний, внедряющих данную технологию с целью стимулирования проведения большего числа как научно-исследовательских, так

и конструкторских работ по использованию цифровых двойников в железнодорожных системах.

Во-вторых, использовать передовой опыт компаний, успешно создавших виртуальные модели объектов инфраструктуры железной дороги, что позволит сократить время на разработку и внедрение собственных решений и ускорить процесс цифровизации.

В-третьих, поощрение операторами железных дорог прохождения курсов повышения квалификации сотрудниками, а также внедрение цифровизации в привычные и рутинные процессы работы позволит более эффективно внедрять цифровые технологии. Полученные работниками знания и умения, касающиеся работы с цифровыми технологиями, облегчат их адаптацию

к использованию виртуальных моделей и ускорят данный процесс.

### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы Центров компетенций Национальной технологической инициативы на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (договор о предоставлении средств юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю на безвозмездной и безвозвратной основе в форме гранта, источником финансового обеспечения которых полностью или частично является субсидия, предоставленная из федерального бюджета № 70–2021–00252 от 15.12.2021).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Digital twin market — growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2022–2027) // Mordor Intelligence [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/digital-twin-market> (дата обращения: 17.12.2022)
2. The history and creation of the digital twin concept // Challenge Advisory. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.challenge.org/insights/digital-twin-history/>
3. Grieves, Michael. (2002). SME Management Forum Completing the Cycle: Using PLM Information in the Sales and Service Functions.
4. Grieves, Michael. (2006). Product lifecycle management — driving the next generation of lean thinking; [how GE, Pund G, Ford, Toyota, an other leading companies achieved dramatic increases in productivity and profit].
5. The growth of digital twins in the UK rail industry // Global Railway review [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.globalrailwayreview.com/article/122411/digital-twins-uk-rail-industry/> (дата обращения: 15.12.2022)
6. The growth of digital twins in the UK rail industry // Global Railway review [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.globalrailwayreview.com/article/122411/digital-twins-uk-rail-industry/> (дата обращения: 15.12.2022)
7. Opportunities for digital twin technology on the French railway network // Global Railway review [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.globalrailwayreview.com/article/120552/digital-twins-french-railway-network/> (дата обращения: 15.12.2022)
8. Drones, digital twins and AI: inside Ferrovie dello Stato's ground-breaking project // Microsoft [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://customers.microsoft.com/EN-CA/story/1462769656169994909-fsitaliane-discrete-manufacturing-azure-en-italy> (дата обращения: 15.12.2022)
9. Deutsche Bahn to test HD mapping, creating railway Digital Twin // RailTech. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.railtech.com/digitalisation/2021/01/18/deutsche-bahn-to-test-hd-mapping-creating-railway-digital-twin/?gdpr=accept> (дата обращения: 15.12.2022)
10. How digital twinning is making Canada's trains run on time // Global Railway Review. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.globalrailwayreview.com/article/139820/digital-twins-canada-trains/> (дата обращения: 15.12.2022)
11. Цифровой двойник для железнодорожных станций // Globalcio. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://globalcio.ru/projects/3019/> (дата обращения: 15.12.2022)
12. Евгений Чаркин: «Проекты 2021 года направлены на построение цифрового двойника РЖД» (часть I) // CDO2DAY. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://cdo2day.ru/lico-raspoznano/evgenij-charkin-proekty-2021-goda-napravleny-na-postroenie-cifrovogo-dvojnika-rzhd-chast-i/> (дата обращения: 15.12.2022)

© Воронин Тимофей Валерьевич ( voronin@digital.msu.ru ), Долбунова Дарья Дмитриевна ( daria.dolbunova@digital.msu.ru ), Коврова Екатерина Сергеевна ( lubomirova.ek@digital.msu.ru ), Шитов Егор Александрович ( egor.shitov@digital.msu.ru ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»