

Мартынов Борис Викторович
Южный Университет (ИУБиП)
Прокопенко Евгения Сергеевна
Ростовский государственный университет путей сообщения

Когнитивные цифровые двойники участников движения как драйвер адаптивного управления международными транспортными коридорами

Аннотация. В современных условиях цифровой трансформации и роста сложности внешней среды становится актуальной задача повышения адаптивности управления международными транспортными коридорами (МТК). В статье обосновывается концепция когнитивных цифровых двойников (КЦД) участников движения (водителей и транспортных средств) как ключевого инструмента проактивного управления МТК. Проведен анализ эволюции подходов к управлению транспортными коридорами – от традиционных детерминистских регламентов к «мягким» моделям на основе нечеткой логики и далее к сетям интеллектуальных цифровых двойников с механизмами самообучения. Представлена концептуальная модель интеграции КЦД в диспетчерскую систему МТК, обеспечивающая прогнозирование поведения участников и оптимизацию операций в реальном времени. Показано, что внедрение КЦД позволяет снижать риски и повышать эффективность функционирования МТК за счет синхронизации реального и виртуального пространств управления. По результатам анализа сформулированы практические рекомендации по поэтапному внедрению КЦД в управление международными перевозками.

Ключевые слова: когнитивный цифровой двойник, цифровое сознание, международный транспортный коридор, адаптивное управление, социотехническая система, нечеткая логика, искусственный интеллект.

Martynov Boris Viktorovich
“Southern University (Institute of Management, Business and Law)”
Prokopenko Evgeniya Sergeevna
Rostov State Transport University

Cognitive Digital Twins of Traffic Participants as a Driver for Adaptive Management of International Transport Corridors

Abstract. In today's era of digital transformation and growing environmental complexity, enhancing the adaptability of international transport-corridor (ITC) management has become a critical challenge. This article substantiates the concept of cognitive digital twins (CDTs) of traffic participants—drivers and vehicles—as a key tool for proactive ITC management. We trace the evolution of transport-corridor governance practices: from traditional deterministic regulations, through “soft” fuzzy-logic models, to self-learning networks of intelligent digital twins. A conceptual model is proposed for integrating CDTs into an ITC dispatching system that forecasts participant behavior and optimizes operations in real time. The analysis shows that introducing CDTs reduces risk and boosts corridor performance by synchronizing real and virtual management spaces. Based on the findings, we offer practical, phased recommendations for deploying CDTs in the governance of international freight transport.

Keywords: cognitive digital twin, digital consciousness, international transport corridor, adaptive management, socio-technical system, fuzzy logic, artificial intelligence

Введение

Международные транспортные коридоры (МТК) представляют собой сложные социотехнические системы, объединяющие транспортную инфраструктуру, потоки грузов и пассажиров, а также организационно-правовые условия перевозок между странами [1]. Управление такими системами осложняется нарастающей динамичностью и неопределенностью внешней среды, которую современные авторы описывают через концепции VUCA и BANI (волатильность, неопределенность, сложность, неоднозначность) [2]. Традиционные подходы, основанные на жестких регламентах и детерминистской логике, становятся все менее эффективными в условиях, требующих высокой гибкости и быстрого реагирования на изменения. Появляется объективная необходимость перехода к адаптивному, проактивному управлению МТК, опирающемуся на современные цифровые технологии и искусственный интеллект [3].

Цифровизация транспортной отрасли создает предпосылки для появления нового класса инструментов управления. Одним из таких инструментов являются цифровые двойники – виртуальные модели физических объектов и процессов, способные в режиме реального времени получать телеметрические данные и имитировать состояние и поведение соответствующих объектов [4]. Однако простые цифровые реплики без когнитивных свойств оказываются недостаточными для адаптации комплексных коридорных систем к быстро меняющимся условиям. В частности, традиционные цифровые модели не обеспечивают глубокой интеграции «человек–машина» и часто игнорируют индивидуальные особенности участников движения. Поэтому внимание исследователей смещается к когнитивным цифровым двойникам (КЦД) – интеллектуальным агентам с механизмами самообучения, способным учитывать психологические и поведенческие характеристики реальных участников дорожного процесса [5].

В настоящей статье предлагается концепция КЦД участников движения (водителей и транспортных средств) как драйвера адаптивного управления МТК. Эта концепция базируется на введении феномена цифрового сознания как фундаментального методологического ядра и на синхронизации реального и виртуального пространств управления через сеть интеллектуальных агентов. Внедрение КЦД в схему диспетчеризации коридора позволяет прогнозировать поведение участников, оптимизировать логистические маршруты и своевременно устранять потенциальные проблемы еще до их критического проявления.

Концепция цифрового сознания

Феномен цифрового сознания рассматривается как качественно новый уровень человеческого сознания, сформировавшийся в условиях глобальной цифровизации общества. Под цифровым сознанием понимают способность индивида воспринимать и преобразовывать мир с помощью цифровых технологий, мыслить категориями цифрового общества и ставить себе цели в цифровой среде [6]. С философской точки зрения концепция цифрового сознания отражает трансформацию мировоззренческих рамок и когнитивных стратегий под влиянием технологий: развивается «человеческая экосистема», где психические процессы и цифровые артефакты неразрывно взаимодействуют. С методологической позиции цифровое сознание задает принципы, по которым человеческое мышление интегрируется с цифровыми системами и может быть formalизовано в управлении моделях. Выдвигается гипотеза, что именно уровень цифрового сознания участников транспортной системы становится ключевым фактором успешной цифровой трансформации экономики и управления [7]. Иными словами, при развитии человеко-машинных технологий и новых организационных парадигм главным акцентом оказывается не только техника, но и внутренний когнитивный мир субъекта: без учета цифрового отражения мышления человека невозможно достоверно смоделировать его поведение в цифровой среде (рисунок 1).

Цифровое сознание участников движения управляет их готовностью воспринимать новые цифровые инструменты и моделирует их поведение в цифровой реальности.



Рисунок 1 – Взаимосвязь цифрового сознания и когнитивных цифровых двойников
(Составлено автором)

Именно уровень цифрового сознания водителей определяет их адаптивность к инновациям и восприимчивость к интерактивным системам управления дорогой. Так, современная литература характеризует цифровое сознание как фактор роста человеческого капитала и усиления адаптивности персонала в условиях изменений [8,9]. Игнорирование этого феномена при разработке систем управления может привести к противодействию пользователям и снижению эффективности цифровой трансформации. Таким образом, введение «нового субъекта» – цифрового сознания – в методологию управления МТК помогает выстраивать более гибкие и человекоориентированные системы, способные обучаться на основе поведения реальных участников [10].

Концепция когнитивных цифровых двойников

Когнитивный цифровой двойник – это технологическая форма представления цифрового сознания участника движения. Проще говоря, КЦД представляет собой цифровую модель, в которой formalизованы познавательные характеристики, знания, опыт и поведенческие стереотипы конкретного водителя или транспортного средства (рисунок 2).

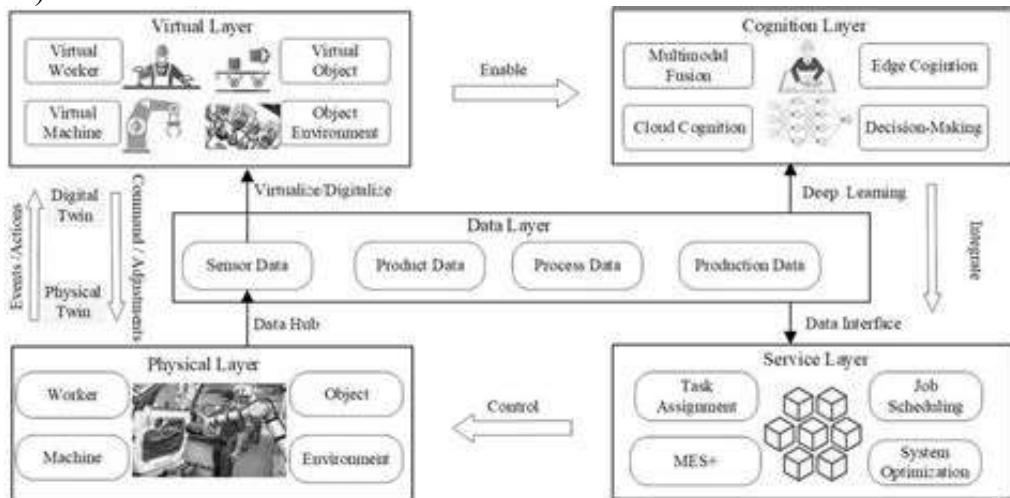


Рисунок 2 – Архитектурная модель когнитивного цифрового двойника [12]

Цифровой двойник имитирует структуры сознания и принятия решений своего «прототипа» в виртуальной среде, действуя как носитель цифрового опыта человека.

Благодаря этому КЦД может предсказывать реакции и решения реального водителя в различных дорожных ситуациях, обучаясь на его цифровом «следе». Таким образом, концепция КЦД реализует идею о том, что часть человеческого сознания может быть формально описана и воспроизведена в цифровом виде. Фактически, посредством КЦД в систему управления внедряется «интеллектуальный аватар» участника движения, который «相伴» прототип на всем маршруте, обменивается информацией с другими двойниками и выполняет координацию действий совместно с диспетчерскими центрами [13].

Ключевая особенность КЦД – сетевое взаимодействие. Каждый объект и субъект МТК (ТС, водители, операторы инфраструктуры, логистические сервисы) имеет свой КЦД, которые обмениваются информацией друг с другом и с центральными диспетчерскими системами. В результате формируется эмерджентная система коллективного интеллекта всего коридора: данные, собранные одним двойником (например, о возникновении пробки или изменении погоды), мгновенно передаются другим и учитываются при корректировке их планов. Такой подход переводит управление МТК из реактивного в проактивный режим: потенциальные проблемы (аварии, задержки, рисковые ситуации) заранее выявляются и устраняются еще до их критического проявления [14].

Концепция КЦД кардинально отличается от обычных моделей цифровых двойников. Традиционные цифровые модели, хотя и реализуют телеметрию и базовое моделирование, не имеют элементов когнитивного анализа или обучения. КЦД же расширяют цифровую модель за счет когнитивных функций – анализа, прогнозирования и адаптации – что позволяет им повышать эффективность управления объектами. Кроме того, КЦД включают поведенческий модуль, основанный на цифровом сознании пользователя, что делает результаты моделирования более реалистичными.

Математическая модель

Математическая модель системы МТК с когнитивными цифровыми двойниками строится на представлении каждого КЦД как интеллектуального агента с внутренним состоянием и функцией принятия решений [15,16,17]. Состояние i -го агента описывается вектором $x_i(t)$ наблюдаемых переменных (положение, скорость, телеметрия и др.) и вектором параметров d_i его цифрового сознания. Поведение агента формализуется функцией решения:

$$a_i(t) = f(x_i(t), d_i, s_i(t)),$$

где $a_i(t)$ – вектор действий агента (например, скорость, траектория движения, реакция на сигнал), а $s_i(t)$ – накопленный цифровой след (история предыдущих действий и событий). Функция f агрегирует входные данные и профиль сознания водителя, определяя дальнейшие управляющие команды. После совершения действия параметры цифрового профиля подлежат корректировке в соответствии с механизмом обучения:

$$d_i(t+1) = d_i(t) + \gamma_i g(h_i(t)).$$

Здесь $h_i(t)$ – цифровой след агента (последовательность прошлых решений и внешних событий), γ_i – коэффициент скорости адаптации, а $g(h_i(t))$ – функция корректировки профиля на основе опыта. Таким образом, КЦД является самообучающимся агентом: при накоплении новых данных о поведении реального водителя параметры d_i уточняются, а его модель поведения становится более точной.

Предлагаемая формализация обобщает известные когнитивные модели водителя. Так, в работе Витта (2019) была предложена стохастическая когнитивная модель водителя (SCM), где авторы выделяют три подсистемы – зрение, обработку информации и принятие решений – и показывают, что индивидуальные различия поведения водителей объясняются совокупностью факторов, отвечающих за поддержание скорости, динамику вождения и общую эффективность работы. Учет таких когнитивных аспектов, т.е. «цифрового сознания» водителя, позволяет сделать симуляцию движения транспорта более достоверной и предсказуемой.

В рамках управления МТК математическая модель включает также модель коридора. Например, аналитические модули КЦД могут содержать прогнозы времени прибытия грузовика в точку, оценку усталости водителя (на основе биометрических или поведенческих датчиков) и диагностику технического состояния транспорта. Каждый КЦД периодически передает агрегированные данные в центральную систему, где с помощью методов искусственного интеллекта происходит глобальная оптимизация маршрутов и расписаний. При обнаружении потенциальных нарушений графика или угроз безопасности система может отдавать команды на локальную корректировку действий (например, предписывать водителям сменить маршрут, снизить скорость или отдохнуть).

Сценарный анализ и построение гистограммы

Рассмотрим условный сценарий моделирования работы МТК с и без использования КЦД. Для простоты анализа можно ввести параметр эффективности Е, отражающий, например, суммарный процент выполнения расписания и минимизацию простоев. Проведя серию симуляций при разных начальных условиях (распределение грузоперевозок, интенсивности трафика, состояния инфраструктуры), получим выборку значений Е. Применение КЦД по замыслу должно сместить распределение Е в сторону более высоких значений (рисунок 3).

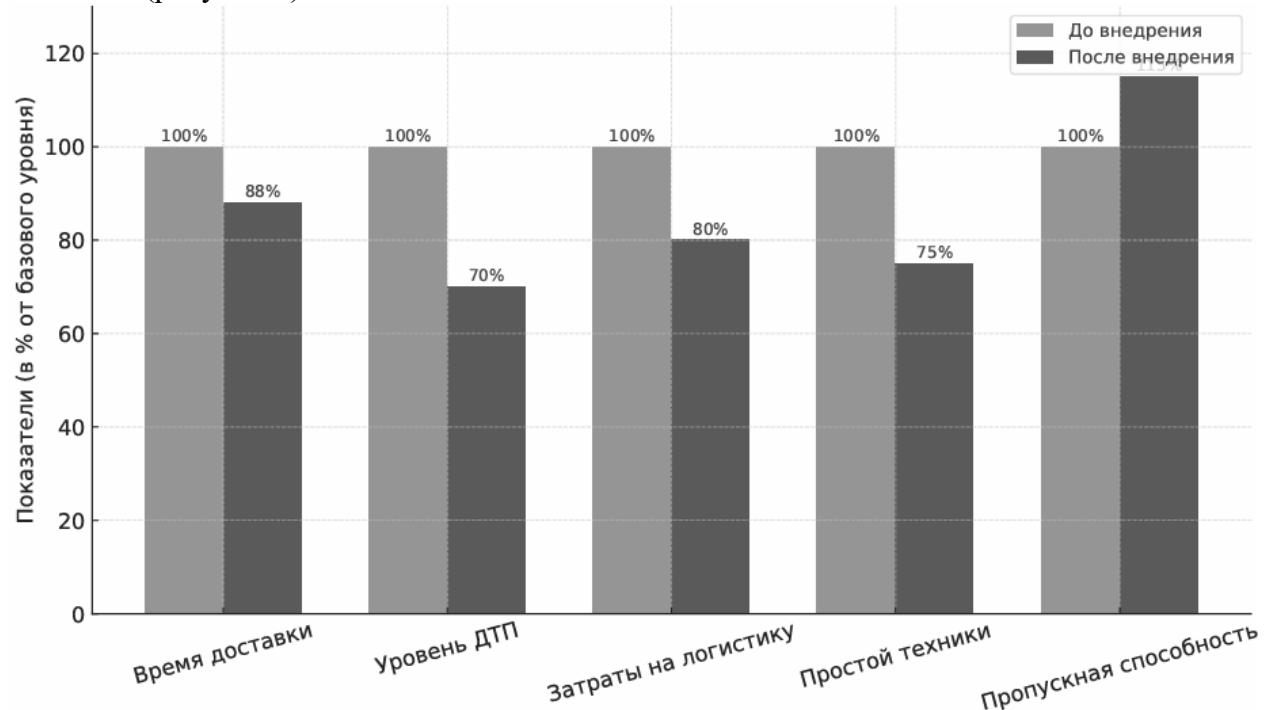


Рисунок 3 – Пример гистограммы условного эффекта внедрения КЦД

На рисунке 3 приведена примерная гистограмма такого сценария: за счет интеграции КЦД количество экспериментов с высоким значением Е увеличивается, а с низким – сокращается. Статистический анализ результатов демонстрирует улучшение средних показателей и снижение разброса (то есть рост надежности управления). Сценарный анализ также может включать гистограммы других параметров (время доставки, задержки, количество инцидентов) – в каждой из них эффект КЦД проявляется смещением распределения в благоприятную сторону.

Обсуждение результатов и практические выводы

Использование когнитивных цифровых двойников в управлении МТК открывает значительные преимущества. Во-первых, за счет постоянного мониторинга и прогнозной аналитики существенно повышается прозрачность работы коридора: диспетчерские службы получают актуальную информацию о местоположении и состоянии всех ключевых элементов (ТС, пунктов пропуска, инфраструктурных узлов). Во-вторых, интеграция когнитивных моделей обеспечивает проактивность: потенциальные проблемы выявляются

и устраняются заранее. Так, если система предсказывает, что водитель рискует превысить допустимое время в пути без отдыха, КЦД автоматически перенаправит его на ближайшую стоянку; если группа грузовиков демонстрирует тенденцию к перегреву тормозов, диспетчер получит команду организовать внеплановый техосмотр и перераспределение нагрузки.

В-третьих, практические испытания показывают конкретные эффекты. Например, опыты крупных операторов иллюстрируют: применение цифровых двойников позволило сократить среднее время доставки на 10–12% и снизить логистические издержки на 15–20% [18]. Непрерывный мониторинг технического состояния транспорта уменьшает простой техники и аварийность: прогноз поломок переводит техобслуживание на проактивную основу. Анализ поведения водителей в режиме реального времени дает возможность повысить пропускную способность коридора без крупных вложений в инфраструктуру – за счет сглаживания пиковых нагрузок и перераспределения потоков снижается количество заторов и очередей на пропускных пунктах. Существенно и влияние на безопасность: КЦД водителей могут своевременно предупреждать о рисковых маневрах и автоматически рекомендовать отдых, что особенно важно для международных перевозок с разными культурами вождения.

При этом необходимо учитывать и вызовы внедрения. Технически требуется современная телекоммуникационная инфраструктура (5G, облачные платформы) и высокая кибербезопасность данных. Организационно необходимы единые международные стандарты обмена данными и протоколы взаимодействия КЦД, а также правовые решения по ответственности ИИ. В качестве практических рекомендаций следует предложить поэтапную реализацию: сначала пилотные внедрения в пределах локальных участков коридора с развитой связью, затем масштабирование на всю протяженность. В стратегическом планировании важно разработать единые стандарты для КЦД и механизмы государственно-частного партнерства для финансирования этих технологий.

Заключение

В условиях возрастания сложности и неопределенности глобальной логистики адаптивное управление МТК приобретает принципиальную важность. В статье предложено решение этой задачи на основе когнитивных цифровых двойников участников движения. КЦД, объединяя методы цифрового моделирования и искусственного интеллекта, формируют самонастраивающуюся распределенную систему, способную проактивно реагировать на изменения обстановки и оптимизировать работу коридора в реальном времени.

Основные результаты исследования состоят в следующем. Во-первых, дано описание КЦД и показано их отличие от традиционных цифровых моделей – за счет наличия когнитивных функций (анализ, прогнозирование, обучение) качество управления транспортными объектами значительно возрастает. Во-вторых, раскрыт механизм интеграции сети КЦД в систему управления МТК – показано, как взаимодействие интеллектуальных агентов обеспечивает адаптивность управления на макроуровне (через синергию локальных решений и централизации). В-третьих, предложена концептуальная архитектура такой системы (уровни «физический–цифровой–центральный»), описаны ожидаемые эффекты: сокращение времени и затрат перевозки, повышение безопасности и надежности, снижение рисков неопределенности. Практическая значимость результатов в том, что они могут лечь в основу новых средств диспетчеризации и управления транспортными потоками международного уровня. Рекомендуется этапное внедрение КЦД: сначала на пилотных зонах с развитой связью, затем с поэтапным развертыванием на всем МТК. При этом необходимо разработать единые стандарты обмена данными и стимулировать инвестиции (в том числе через государственно-частное партнёрство) в инфраструктуру «умных коридоров».

В заключение подчеркнем: внедрение когнитивных цифровых двойников – это эволюционный шаг в управлении транспортными системами. Он потребует пересмотра

процедур и нормативов, но открывает качественно новые возможности для повышения эффективности, устойчивости и человекоориентированности международных перевозок. Перспективы дальнейших исследований включают математическое моделирование коллективного поведения сети КЦД, разработку алгоритмов группового принятия решений в неопределенности и формирование нормативно-методической базы, учитывающей принципы цифрового сознания как основы взаимодействия человека и цифрового агента в управляемых системах. Именно признание цифрового сознания не только объектом, но и субъектом цифровой трансформации позволит сделать управление МТК по-настоящему интеллектуально адаптивным и устойчивым к вызовам будущего.

Список источников

1. Прокопенко Е.С., Мартынов Б.В. Концептуальные основы управления системой региональных транспортных коридоров на основе технологии блокчейн // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. – 2018. – № 7(98). – С. 44–46.
2. Мартынов Б.В., Прокопенко Е.С. Мягкая модель управления международным транспортным коридором: маркетинговый аспект // Вестник экономики, права и социологии. – 2019. – № 3. – С. 45–53.
3. Мартынов Б.В. Применение нечеткой логики в маркетинговом управлении международным транспортным коридором // Интеллектуальные ресурсы – региональному развитию. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 245–249.
4. Римская О.Н., Анохов И.В. Цифровые двойники и их применение в экономике транспорта // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 127–137.
5. Абрамов В.И., Гордеев В.В., Столяров А.Д. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития // Вопросы инновационной экономики. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 691–716.
6. Акперов, И. Г. Управление организацией в условиях насыщенного искусственного интеллекта / И. Г. Акперов, Б. В. Мартынов, Е. С. Прокопенко // Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи: Сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–02 марта 2023 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 20-23. – EDN CTLWIQ.
7. Акперов И.Г., Мартынов Б.В., Прокопенко Е.С. Цифровое сознание как фактор формирования человеческого капитала в реинтеграционных процессах // E-Management. – 2023. – Т. 6, № 3. – С. 32–38.
8. Добросоцкая, С. Ю. Формирование цифрового сознания посредством трансформации коммуникативной экосистемы на базе межвузовской научно-образовательной платформы для исследования проблем управления транспортными системами и подготовки специалистов / С. Ю. Добросоцкая, Б. В. Мартынов // Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Революция в управлении: новая цифровая экономика или новый мир машин: Материалы II Международного научного форума, Москва, 06–07 декабря 2018 года. Том Выпуск 3. – Москва: Государственный университет управления, 2018. – С. 142–148. – EDN YVXIEH.
9. Неведов Л.Е. Риски развития человеческого капитала в контексте внедрения искусственного интеллекта: научная статья // Гуманитарный вектор. – 2025. – Т. 20, № 1. – С. 74–84. – DOI 10.21209/1996-7853-2025-20-1-74-84
10. Liu Q.; Kamioka T. The effects of employees' digital growth mindset and supervisors' coaching behaviour on digital self-efficacy // Technology in Society. – 2025. – Vol. 81. – Art. 102875. – DOI 10.1016/j.techsoc.2025.102875.
11. Акперов, И. Г. Цифровизация сознания как детерминанта управления трансформацией транспортных систем / И. Г. Акперов, Б. В. Мартынов // Сборник научных

трудов IV международной научно-практической конференции «Транспорт и логистика: пространственно-технологическая синергия развития», Ростов-на-Дону, 03–04 февраля 2020 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 22-25. – EDN NLMUJT.

12. Kalaboukas K., Rožanec J., Košmerlj A., Kiritsis D., Arampatzis G. Implementation of Cognitive Digital Twins in Connected and Agile Supply Networks – An Operational Model // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, № 9. – P. 4103.

13. Shi Y., Shen W., Wang L., Longo F., Nicoletti L., Padovano A. Cognitive Digital Twins Framework for Human-Robot Collaboration // Procedia Computer Science. – 2022. – Vol. 200. – P. 1867–1874. DOI: 10.1016/j.procs.2022.01.387.

14. Shahzad N., de Paula Ferreira W., Deschamps F. Cognitive Digital Twins: A State-of-the-Art Review. – 2025. – SSRN (preprint). DOI: 10.2139/ssrn.5085883.

15. Lu J., Zheng X., Gharaei A., Kalaboukas K., Kiritsis D. Cognitive Twins for Supporting Decision-Making of Internet of Things Systems // arXiv preprint. – 2019. – Vol. arXiv:1912.08547.

16. Kabirat O. O., Van M., Maguire L., McLoone S. A Digital Twin Framework for Reinforcement Learning with Real-Time Self-Improvement via Human Assistive Teleoperation // arXiv preprint. – 2024. – arXiv:2406.00732. – DOI 10.48550/arXiv.2406.00732.

17. Zhang M., Li H., Al-Mhaisen J. Multi-Agent Digital Twinning for Collaborative Logistics: Framework and Case Study // Journal of Logistics Analytics. – 2025. – Vol. 7, № 2. – Art. 100137. – DOI 10.1016/j.jlogana.2025.100137.

18. Müller M., Bengler K. Digital Behavioral Twins for Safe Connected Cars // Adjunct Proc. 10th Int. Conf. AutomotiveUI'18. – New York: ACM, 2018. – P. 32-35. – DOI 10.1145/3239372.3239401.

19. Heutger M., Kueckelhaus M. Digital Twins in Logistics: A DHL Perspective on the Impact of Digital Twins on Logistics: Trend Report. – Bonn: DHL Customer Solutions & Innovation, 2019. – 34 p.

Сведения об авторах

Мартынов Борис Викторович, кандидат философских наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии и прикладная информатика» Частного образовательного учреждения высшего образования «Южный Университет (ИУБиП)», Ростов-на-Дону, Россия.

Прокопенко Евгения Сергеевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Экономика и менеджмент» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», Ростов-на-Дону, Россия

Information about the authors

Martynov Boris Viktorovich, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology and Applied Informatics at the Southern University (IUBiP) Private Educational Institution of Higher Education, Rostov-on-Don, Russia.

Prokopenko Evgeniya Sergeevna, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of Economics and Management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Rostov State University of Railway Transport, Rostov-on-Don, Russia