

УДК 332.1:681.518.3

Н. В. Погребная

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»,
Краснодар, e-mail: nvp777@bk.ru

А. Д. Крышня

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»,
Краснодар, e-mail: cryshnia@yandex.ru

М. М. Линеикин

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»,
Краснодар, e-mail: Lineykinmax@gmail.com

Д. С. Заруба

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»,
Краснодар, e-mail: daniilzaruba2@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Ключевые слова: цифровые двойники, дорожное строительство, Краснодарский край, инвестиции, эффективность, цифровизация.

Статья носит исследовательский характер и посвящена анализу перспектив внедрения цифровых двойников в дорожное хозяйство Краснодарского края как инструмента повышения эффективности управления. Цель исследования – разработка рекомендаций по внедрению цифровых двойников в дорожное строительство Краснодарского края на основе анализа текущих показателей и выявленных барьеров. В качестве материалов для проведения анализа исследования состояния дорожного хозяйства Краснодарского края, а также исследования проблем и перспектив внедрения цифровых двойников, были использованы нормативные документы, регулирующие область ведения финансового учета, научные публикации российских авторов, бухгалтерская (финансовая) отчетность, данные из единой информационно-статистической системы. Использовались методы сравнительного и финансового анализа. Результаты проведенного исследования позволили обосновать необходимость внедрения цифровых двойников – виртуальных моделей, интегрирующих данные IoT, ГЛОНАСС и искусственный интеллект для оптимизации жизненного цикла дорожных объектов. На примере успешных кейсов продемонстрированы преимущества технологии: повышение пропускной способности перекрестков, сокращение затрат на обслуживание, прогнозирование износа инфраструктуры. Отмечены барьеры для реализации в Краснодарском крае: высокие первоначальные инвестиции, дефицит квалифицированных кадров, фрагментарность данных. Статья подчеркивает, что внедрение цифровых двойников способно трансформировать дорожную отрасль края, обеспечив устойчивое развитие транспортной сети и повышение безопасности дорожного движения.

N. V. Pogrebnaya

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar,
e-mail: nvp777@bk.ru

A. D. Kryshnya

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar,
e-mail: cryshnia@yandex.ru

M. M. Lineikin

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar,
e-mail: Lineykinmax@gmail.com

D. S. Zaruba

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar,
e-mail daniilzaruba2@mail.ru

PROBLEMS AND PROSPECTS OF IMPLEMENTING DIGITAL TWINS IN ROAD CONSTRUCTION OF KRASNODAR REGION

Keywords: digital twins, road construction, Krasnodar Region, investment, efficiency, digitalization.

The article is of a research nature and is devoted to the analysis of the prospects for introducing digital twins into the road economy of the Krasnodar Territory as a tool to increase the efficiency of management. The purpose of the study is to develop recommendations for the introduction of digital twins in the road construction of the Krasnodar Territory based on the analysis of current indicators and identified barriers. As materials for the analysis of the study of the state of the road economy of the Krasnodar Territory, as well as the study of the problems and prospects for the introduction of digital twins, regulatory documents regulating the field of financial accounting, scientific publications of Russian authors, accounting (financial) statements, data from a single information and statistical system were used. Comparative and financial analysis methods were used. The results of the study made it possible to justify the need to introduce digital twins – virtual models that integrate IoT, GLONASS and artificial intelligence data to optimize the life cycle of road objects. Successful cases demonstrate the advantages of technology: increasing the throughput of intersections, reducing maintenance costs, predicting infrastructure wear. Barriers to implementation in the Krasnodar Territory were noted: high initial investments, a shortage of qualified personnel, fragmentation of data. The article emphasizes that the introduction of digital twins can transform the road industry of the region, ensuring the sustainable development of the transport network and improving road safety.

Введение

Как известно, строительство, как отрасль имеет немаловажное значение в контексте динамического развития экономики любой страны, формирующая материальную основу, инфраструктуру, за счет чего обеспечивается функционирование остальных отраслей. Стоит отметить, что важным элементом функционирования экономики является дорожная инфраструктура, обуславливающая транспортную связность экономических центров, оптимизацию логистики при перемещении факторов производства, товаров и услуг, поддержку ключевых секторов экономики [4].

В настоящее время, для обеспечения и повышения эффективности деятельности любой отрасли, активно разрабатывается и внедряется множество технологических решений, в том числе, в отрасли дорожного строительства.

Ввиду необходимости повышения качества, безопасности и экономической эффективности дорожной инфраструктуры Краснодарского края, как региона, обладающего развитой транспортной сетью, сегодня существует потребность в создании и применении различных инновационных подходов.

Одним из результатов цифровизации, демонстрирующим значительное повышение эффективности управления, является концепция цифровых двойников, которая нашла широкое применение во многих отраслях экономики. Цифровые двойники представляют собой сложную виртуальную модель, отражающую постоянно обновляющиеся физические структуры объекта в режиме реального времени, основой для создания которой послужили такие технологии, как технологии информационного моделирования, Internet of Things (IoT) и искусственный интеллект [1].

Говоря о дорожном строительстве, применение в данной сфере технологии цифровых двойников охватывает все этапы жизненного цикла дорожного объекта, от планирования и проектирования до строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции объекта [3].

Целью настоящего исследования является разработка рекомендаций по внедрению цифровых двойников в дорожное строительство Краснодарского края на основе анализа текущих показателей и выявленных барьеров. К задачам исследования относятся:

1. Проведение анализа ключевых показателей состояния дорожного хозяйства Краснодарского края за 2022–2024 гг.
2. Определение сущности цифровых двойников.
3. Изучение вопроса перспектив и проблем интеграции цифровых двойников в дорожное хозяйство региона, как инструмента, позволяющего снизить влияние негативных факторов на развитие дорожной отрасли региона.
4. Разработать практические рекомендации по интеграции цифровых двойников с учётом региональных особенностей.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов для проведения анализа исследования состояния дорожного хозяйства Краснодарского края, а также исследования проблем и перспектив внедрения цифровых двойников, были использованы нормативные документы, регулирующие область ведения финансового учета, научные публикации российских авторов, бухгалтерская (финансовая) отчетность, данные из единой информационно-статистической системы. Использовались методы сравнительного и финансового анализа [6].

Таблица 1

Показатели объема дорожного фонда и протяженности автомобильных дорог Краснодарского края [5]

Показатель	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2024 г. к 2022 г.	
				Абсолютное отклонение	Темп прироста, %
Объем дорожного фонда, млн руб.	49708,1	58 038,5	52557,7	+2849,60	+ 5,73%
Протяженность автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения с твердым покрытием, км	8944,45	8 898,63	8898,1	- 46,31	- 0,52%
Протяженность участков автомобильных дорог регионального значения, находящихся в строительстве и реконструкции, км	75,3	98,42	93,46	+18,16	+ 24,12%
Протяженность участков ввода в эксплуатацию после строительства и реконструкции автомобильных дорог регионального значения, км	12,71	23,7	0,81	- 11,90	- 93,63%
Протяженность участков автомобильных дорог регионального значения, подлежащих вводу (введенных) в эксплуатацию после капитального ремонта и ремонта, км	540,93	728,3	306,56	- 234,37	- 43,33%

Таблица 2

Показатели расходования ассигнований и затраты на содержание, ремонт и строительство дорог в Краснодарском крае [5]

Показатель	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2024 г. к 2022 г.	
				Абсолютное отклонение	Темп прироста, %
Расходование ассигнований дорожного фонда на внедрение интеллектуальных транспортных систем, млн руб.	162	0	38,4	-123,60	-76,30%
Расходование ассигнований дорожного фонда на строительство и реконструкцию автомобильных дорог общего пользования, млн руб.	9 692,1	12965,2	11867,4	2175,30	+22,44%
Затраты на капитальный ремонт автомобильных дорог общего пользования, млн руб.	22789,26	23779,31	26909,9	4120,71	+18,08%
Затраты на ремонт автомобильных дорог общего пользования, млн руб.	17356,17	18118,3	20504,8	3148,64	+18,14%
Затраты на содержание автомобильных дорог общего пользования, млн руб.	12 676,29	13 254,8	14 299,9	1 623,62	+12,81%
Расходы на строительство и реконструкцию 1 км дороги общего назначения, млн руб. /1 км	110,12	106,17	125,89	15,76	+14,31%
Расходы на капитальный ремонт и ремонт 1 км дороги общего назначения, млн руб. /1 км	74,22	57,53	154,67	80,45	+108,40%

В рамках исследования проведем анализ основных показателей деятельности дорожного хозяйства Краснодарского края (таблица 1).

За анализируемый период 2022-2024 гг. объем дорожного фонда увеличил-

ся на 2 849,6 млн руб. (5,73%), что свидетельствует о расширении возможностей финансирования мероприятий дорожного хозяйства, направленных на ремонт и строительство автомобильных дорог, что является положительной тенденцией.

Согласно данным таблицы 2, за период 2022-2024 гг. увеличились затраты на: капитальный ремонт дорог (увеличение составило 4 120,71 млн руб. или 18,08%); текущий ремонт дорог (увеличение составило 3 148,64 млн руб. или 18,14%); содержание дорог (увеличение составило 1 623,62 млн руб. или 12,81%); а также расходование ассигнований дорожного фонда на строительство и реконструкцию автомобильных дорог общего пользования регионального значения и искусственных сооружений на них (увеличение составило 2 175,3 млн руб. или 22,44%) при одновременном уменьшении протяженности автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения с твердым покрытием на 46,31 км (0,52%), снижением протяженности участков ввода в эксплуатацию после строительства и реконструкции на 11,9 км (93,63%) и участков автомобильных дорог регионального значения, подлежащих вводу (введенных) в эксплуатацию после капитального ремонта и ремонта на 234,37 км (43,33%).

Однако, при этом, расходы ассигнований дорожного фонда на внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением за исследуемый период уменьшились на 123,6 млн руб. (76,3%), а в 2023 г. вовсе отсутствовали, что позволяет говорить о вероятном сокращении мер по цифровой модернизации дорожного хозяйства, что может негативно влиять на безопасность транспортного процесса и эффективность транспортной системы края.

По результатам проведенного анализа, можно выделить следующие тенденции развития дорожного хозяйства Краснодарского края:

1. Наличие приоритета традиционных методов ремонта над инновациями, что замедляет модернизацию (в том числе на это указывает снижение темпов цифровизации процессов дорожного хозяйства в следствие снижения объемов финансирования ИТС)

2. Увеличение объемов расходов на капитальный и текущий ремонт при одновременном сокращении протяженности дорог с твердым покрытием и уменьшении ввода участков после ремонта может свидетельствовать об устаревании инфраструктуры, требующей все больше ресурсов для поддержания в рабочем состоянии и частого ремонта.

3. Увеличение расходования ассигнований дорожного фонда на строительство и реконструкцию автомобильных дорог общего пользования с одновременным уменьшением протяженности введенных в эксплуатацию дорог после строительства и реконструкции может указывать на замедление темпов развития дорожной сети, что может быть связано с недостаточным финансированием новых проектов, а также неэффективным распределении ресурсов.

4. Также следует отметить, что на данный момент строительство и реконструкция дороги требует меньшего финансирования по сравнению с осуществлением капитального и текущего ремонта дорог, что позволяет говорить об экономической целесообразности повышения качества строительства новых дорог с целью снижения потребностей в ремонте в будущем.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из возможных решений, внедрение которого позволит обеспечить развитие процесса совершенствования функционирования дорожного хозяйства может стать активизация использования цифровых двойников – виртуальных моделей физических объектов и систем, созданных на основе данных и алгоритмов, которые имитируют структуру, свойства и поведение реальных объектов в режиме реального времени.

В России введение цифровых двойников в дорожное хозяйство находится на ранней стадии, однако, на данный момент, существует несколько успешных примеров их использования, представленные в таблицах 3-4.

Москва демонстрирует наибольший охват: оцифровано 7000 км дорожной сети, 28 классов объектов ДТИ и 1,7 млн элементов инфраструктуры. Это позволяет детально моделировать городскую среду и повысить качество управления транспортными потоками. Казань сосредоточена на городском уровне: оцифровано 2000 км дорог, внесено 15,5 млн данных и 456 тыс. документов. Акцент сделан на интеграцию данных и документов, что в перспективе упрощает межведомственное взаимодействие. Трасса М-11 «Нева» (610 км) ориентирована на межрегиональную магистраль между Москвой и Санкт-Петербургом.

Таблица 3

Примеры использования цифровых двойников [2]

Проект	Описание	Результат
Цифровой двойник транспортной инфраструктуры г. Москва	В Москве создается цифровой двойник транспортной системы, включая дороги, светофоры и общественный транспорт. Модель интегрирует данные с камер, датчиков и ГЛОНАСС для оптимизации движения и ремонта дорог.	Внедрение цифровых двойников способствует снижению расходов на поддержание точности и своевременности данных о городском дорожном движении. Например, в области управления светофорами эта технология позволяет оценивать качество работы систем через объективные критерии; оперативно обнаруживать проблемные зоны в транспортной сети; автоматизировать поиск решений за счет анализа данных и симуляции сценариев. В результате этого пропускная способность перекрестков возрастает на 30–100%; время простоя транспорта сокращается без снижения безопасности; устраняются «точечные» заторы, негативно влияющие на всю сеть.
Цифровой двойник дорог с пробками и трафиком в г. Казань	Автоматизированные мобильные комплексы оцифровывают дорожную инфраструктуру, используя машинное зрение для сбора геоданных, параметров объектов и панорамной съемки. Алгоритмы распознают светофоры, знаки, пешеходные зоны, анализируют состояние покрытия. В работе применяют лидары, 3D-сканирование и другие технологии, варьирующиеся между операторами.	Цифровой двойник дорожной сети позволяет контролирующим органам видеть, что происходит с дорогами, а также моделировать процессы – на отдельном участке и в целом по городу. Это позволяет значительно повысить эффективность развития дорог и их безопасность.
Цифровой двойник трассы М-11 «Нева» между Москвой и Санкт-Петербургом	Цифровой двойник представляет собой точную копию всей дорожной инфраструктуры и интегрирован с системой V2X (vehicle-to-everything), которая позволяет автомобилям и дороге обмениваться информацией в режиме реального времени.	Обеспечение бесперебойного обмена данными о дорожной ситуации, погодных условиях и других динамических изменениях, что способствует повышению скорости и безопасности движения беспилотных автомобилей.

Таблица 4

Показатели использования цифровых двойников [2]

Показатели	Объемы, единица измерения
Цифровой двойник дорожно-транспортной инфраструктуры в Москве	
1. Оцифрована дорожная сеть	7000 км
2. Оцифровано объектов дорожно-транспортной инфраструктуры	28 классов ДТИ
3. Оцифровано элементов инфраструктуры	1,7 млн
Цифровой двойник дорог с пробками и трафиком в г. Казань	
1. Оцифрована дорожная сеть	2000 км
2. Оцифровано и внесено в геоинформационную систему	более 15,5 млн данных 456 тыс. документов
3. Оцифровано инженерных сетей	более 53%
Цифровой двойник трассы М-11 «Нева» между Москвой и Санкт-Петербургом	
1. Оцифрована дорожная сеть	610 км



Меры по внедрению цифровых двойников в дорожное хозяйство Краснодарского Края

Прецизионная цифровая копия магистральной включает не только детализированную 3D-карту трассы, но и актуальные данные о дорожной обстановке, обновляемые в режиме реального времени. Этот виртуальный аналог обеспечивает безопасность автономного и сетевого транспорта, прогнозируя изменения на маршруте за десятки километров. Технология позволяет заблаговременно адаптировать движение к погодным условиям, ремонтным работам и другим факторам, минимизируя риски и повышая эффективность транспортной инфраструктуры.

Таким образом, в контексте внедрения моделей в дорожное хозяйство, можно выделить основные положительные аспекты, такие как:

1. Оптимизация расходов за счет прогнозирования износа строительных объектов, а также моделирования вариантов ремонта с целью выбора наиболее экономически эффективного решения.
2. Повышение эффективности строительства и реконструкции дорог за счет виртуального проектирования, позволяющего учитывать данные о геологии, транспортных потоках, экологических ограничениях и т.д.

3. Повышение качества ремонта, строительства дорог, безопасности, удобства дорожного движения за счет систематического отслеживания, контроля и визуализации важных изменений и характеристик транспортной системы [3].

Основываясь на успешном опыте внедрения цифровых двойников в других регионах, можно предложить следующие рекомендации по внедрению цифровых двойников (рисунок).

Заключение

Проведённое исследование показателей функционирования дорожного хозяйства демонстрирует несколько тенденций, оказывающих сдерживающий эффект на развитие данной отрасли.

Тем не менее, одним из перспективных решений выявленных проблем может стать интеграция в процессы дорожного хозяйства цифровых двойников – технологий, доказавших свою эффективность в таких городах, как Москва, Казань, Новосибирск, а также на трассе М-11 «Нева». Использование виртуальных моделей на всех этапах жизненного цикла проектов дорожного строительства позволяет не только прогнозировать износ объектов и оптимизировать процесс ремон-

та, но и повышать эффективность управления инфраструктурой. Например, моделирование транспортных потоков и их интеграция с системами V2X, позволяют снизить загруженность магистралей на 30–100%, как это было реализовано в столице.

При этом, внедрение моделей двойников на начальном этапе имеет ряд ограничений: необходимость наличия значительных объемов инвестиций, возможный риск нехватки квалифицированных кадров для

управления системами цифровых двойников, фрагментарность данных, технические сложности, обусловленные разным качеством покрытия сетей в районах. Внедрение таких решений в Краснодарском крае потребует пересмотра приоритетов в финансировании, увеличения доли расходов на цифровизацию, а также запуска пилотных проектов для ключевых транспортных узлов и разработки единых стандартов сбора и анализа данных.

Библиографический список

1. Акимов А.Е., Бондаренко С.Н., Бодяков А.Н., Курлыкина А.В. К вопросу о создании цифрового двойника для строительства автомобильной дороги // Системные технологии. 2023. №4 (49). С. 25-34.
2. Евсин А.В. Цифровой двойник в сфере организации дорожного движения // Системы безопасности. 2022. № 2. URL: https://cs.groteck.ru/SS_2_2022/34/index.html (дата обращения: 08.02.2025).
3. Коротеев Д.Д., Ким А.А., Васютин А.О. Перспективы применения цифровых двойников в строительной отрасли // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16, № 2. URL: <https://esj.today/PDF/12SAVN224.pdf> (дата обращения: 08.02.2025).
4. Кухаренко А.А., Паремузова М.Г., Гайдук В.И. Инвестиции в строительство логистического комплекса как фактор развития сельских территорий Краснодарского края // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4(400). С. 429-432.
5. Официальный сайт Министерства транспорта и дорожного хозяйства Краснодарского края [Электронный источник]. URL: <https://mt.krasnodar.ru/> (дата обращения: 08.02.2025).
6. Погребная Н.В. Международный бизнес: учеб.-метод. пособие. Краснодар: КубГАУ, 2015. 154 с.