Цифровизация проектного управления в сфере дорожного ГЧП

Самыловских Дмитрий Вадимович
аспирант, кафедра Экономической политики и государственно-частного партнерства (ЭПГЧП), факультет Международного бизнеса (МБ), МГИМО МИД России, samylovskikhd@gmail.com

В статье проведено исследование тенденций и проблем внедрения инструментов цифровой трансформации при реализации проектов дорожного строительства на основе государственно частного партнёрства (ГЧП). Установлено, что современные цифровые технологии, применяемые в жизненном цикле дорожных проектов, включают информационное моделирование, цифровые двойники, интернет вещей, аналитику больших данных, блокчейн, системы геоинформационного анализа и виртуальную реальность. Результатом исследования является разработанная концептуальная модель управления проектами дорожного строительства с использованием цифровых инструментов, направленная на повышение качества проектирования, сокращение сроков строительства, повышение прозрачности и совершенствование эксплуатационного обслуживания.
Ключевые слова: дорожное строительство, государственно-частное партнёрство, проектное управление, цифровизация, управление жизненным циклом.

Качество и состояние дорог очень важны в контексте развития государства. В России более полутора миллионов километров автомобильных дорог. Однако большая часть этих дорог нуждается в ремонте [1]. Средства в бюджете ограничены и их не хватает на своевременный ремонт старого дорожного покрытия и на укладку нового. Для решения данной проблемы государство уделяет всё больше внимания партнёрству с частными компаниями. По данным АИИК, к 2024 году было заключено почти 3,5 тысячи подобных соглашений, а общая сумма вложений составила почти пять триллионов рублей. Причём около 70% средств – частные инвестиции. Особенно активно бизнес вкладывается в транспорт – 117 проектов на суму 2,4 трлн. руб. Это свидетельствует о том, что ГЧП является тем механизмом, который действительно вносит существенный вклад в развитие дорожных систем [2].

Сейчас многие инфраструктурные проекты переживают цифровую трансформацию. И дорожная сфера – не исключение. В ней происходит переход к управлению на основе данных и внедрение технологий Индустрии 4.0. Это означает, что всё больше решений принимается «интеллектуально», с опорой на «цифры» и умные системы. Такой подход помогает быстрее находить проблемы на дорогах, способствует сокращению сроков и делает проекты прозрачнее [3]. Это серьёзный шаг вперёд.

Цель статьи – провести обзор существующих и перспективных цифровых инструментов управления проектами дорожного строительства в рамках ГЧП и разработать концептуальную модель их интеграции в жизненный цикл инфраструктурных объектов.

В данной статье применены следующие методы исследования:

– анализ литературных источников и нормативных документов;

– контент-анализ средств массовой информации и профессиональных порталов;

– статистический анализ количества и структуры проектов ГЧП, объёмов инвестиций и динамики рынка цифровых двойников;

– системный и сравнительный анализ.

В ходе цифровой трансформации отрасли дорожного строительства ключевыми инструментами выступают внедрение искусственного интеллекта и принятие решений на основе данных и аналитики, дистанционный мониторинг с помощью датчиков и интернета вещей, создание цифровых двойников и BIM-моделей, использование технологий виртуальной и дополненной реальности, а также разработка умных материалов [4].

Одним из значимых цифровых инструментов является технология цифровых двойников (Digital Twin), которая позволяет в реальном времени сопоставлять физический объект с его виртуальной моделью. Цифровой двойник – это динамическая виртуальная модель физического объекта, обновляющаяся в реальном времени. Она основана на данных, получаемых с датчиков и других источников. В дорожном хозяйстве цифровые двойники используются для моделирования функционирования покрытия, прогнозирования износа, управления движением и планирования ремонтов. Масштабирование этой технологии зависит от развития интернета вещей и аналитики больших данных. Исследования показывают, что интеграция цифровых двойников в управление инфраструктурой повышает точность прогнозов и позволяет своевременно реагировать на потенциальные неисправности, что существенно снижает эксплуатационные расходы [3]. BIM-модель является, в свою очередь, фундаментом. Без качественной BIM-модели создать эффективный цифровой двойник дороги практически невозможно, так как у него не будет точной «геометрической и инженерной базы».

Анализ мирового рынка показывает, что ведущими по внедрению цифровых двойников являются США, Китай и страны ЕС. В России пилотные проекты реализуются в Московской области, на федеральных трассах М-11 и М-12, а также на мостовых сооружениях. Эксперты считают, что в ближайшие пять лет технология станет массовой благодаря снижению стоимости датчиков и развитию отечественных платформ. Глобальный рост рынка цифровых двойников приведёт к увеличению числа специалистов и снижению барьеров входа [4].

Еще одним цифровым инструментом управления проектами является интернет вещей (IoT). Он включает сеть датчиков, устройств и программных систем, позволяющих собирать и обмениваться данными. В дорожной отрасли IoT применяется для мониторинга температуры, влажности, нагрузки, вибраций, плотности движения и других параметров. Современные датчики могут быть интегрированы в дорожное покрытие, мосты, знаки и автомобили. Собранные данные передаются в облачные платформы, где анализируются алгоритмами ИИ. Специалисты российской академии транспорта подчёркивают, что использование датчиков и удалённого мониторинга позволяет оперативно выявлять дефекты, предотвращать аварии и оптимизировать обслуживание [5]. Применение IoT создаёт возможность перехода от планово-предупредительного ремонта к обслуживанию по состоянию («predictive maintenance»). Это снижает эксплуатационные расходы и повышает качество обслуживания дорог, что выгодно частному партнёру. Для эффективного внедрения необходимы стандарты передачи данных, надёжная связь и защищённая инфраструктура.

Такой инструмент, как Big Data с использованием методов машинного обучения и искусственного интеллекта позволяет обрабатывать данные, поступающие от BIM-моделей, датчиков и внешних источников, и принимать решения в реальном времени.

Алгоритмы ИИ используются для прогнозирования состояния покрытия, выявления аномалий, оптимизации маршрутов перевозки, управления трафиком и планирования ремонтов. Кроме того, машинное обучение применяется для анализа погодных данных, социальных и экономических факторов, влияющих на дорожную сеть, что позволяет повысить качество стратегического планирования.

Блокчейн – это распределённая база данных, обеспечивающая неизменность записей и прозрачность транзакций. В дорожном строительстве блокчейн может использоваться для фиксации поставок материалов, заключения и исполнения контрактов, отслеживания финансовых потоков и управления регистрами собственности. Эксперты отмечают, что применение блокчейна позволяет повысить доверие между участниками ГЧП, снизить риск мошенничества и упростить проверку соблюдения условий договоров [4]. В перспективе блокчейн может стать частью платформы управления дорожными проектами, интегрированной с BIM и цифровыми двойниками. Блокчейн также может быть использован для автоматизации платежей в соответствии с фактическим состоянием объекта, фиксируемым через IoT-датчики и цифровые модели. Это создаёт механизм «умных контрактов», который автоматически перечисляет вознаграждение частному партнёру при достижении определённых параметров (например, коэффициента ровности покрытия или времени устранения дефектов).

ГИС и спутниковые системы используются для пространственного анализа дорожной сети, мониторинга транспорта и картирования. Ведущие программные комплексы в области ГИС (QGIS, ArcGIS и AutoCAD Civil 3D) располагают развитыми возможностями, необходимыми для разработки и экспертной оценки объектов дорожного строительства [6]. Интеграция данных ГИС с BIM-моделями обеспечивает визуализацию проекта в контексте реальной местности, анализ природных условий и идентификацию рисков. В рамках ГЧП применение ГИС-сервисов облегчает взаимодействие с пользователями (например, информирование о пробках и ограничениях), позволяет прогнозировать интенсивность движения и рассчитывать тарифы для платных дорог.

Такой цифровой инструмент, как AR/VR применяется для визуализации проектов и обучения персонала [7]. Технологии позволяют провести виртуальную экскурсию по строящемуся объекту, выявить проектные коллизии, обучить работников безопасным методам ведения работ и презентабельно представить проект инвесторам. Дополненная реальность может использоваться для оперативной работы на строительной площадке: например, инженер, наведя планшет на участок, сразу видит слои конструкции, расположение коммуникаций и параметры объекта.

На основе анализа литературы, нормативных документов, выявления особенностей и преимуществ каждой из рассматриваемых технологий была разработана концептуальная модель интеграции цифровых инструментов в жизненный цикл дорожного проекта, реализуемого в рамках ГЧП. Модель включает 3 этапа и ключевые цифровые решения:

– инициирование и планирование;

– строительство;

– эксплуатация и обслуживание;

На стадии инициирования и планирования выполняется анализ потребностей, обоснование инвестиций и выбор формы ГЧП. Используются ГИС для пространственного анализа, экономические модели и портфельные системы для сравнения вариантов. Разрабатывается предварительная BIM-модель дорожного коридора и формируется цифровой двойник, на котором имитируется воздействие разных сценариев. BIM-модель должна разрабатываться с учётом геологии, климатических условий, инженерных сетей и требований к безопасности. Модель проходит экспертизу и согласование в электронной форме. На основе модели разрабатываются сметы и графики. Параллельно настраивается сенсорная система и планируется архитектура IoT для будущего мониторинга.

На втором этапе все строительные процессы контролируются с использованием BIM-модели, которая связана с календарно-сетевым графиком и логистикой поставок. Данные о расходе материалов и выполненных работах заносятся в систему, обеспечивая прозрачность и проверяемость. Дополненная реальность применяется для контроля качества, а роботизированные комплексы – для укладки покрытия. Также на данном этапе могут применяться БПЛА, GPS-трекинг, 3D-нивелирование и IoT-датчики. В настоящее время данные технологии используются совместно с принципами Lean Construction (Бережливое производство) [8]. Например, Just-in-Time & Visual Management реализуются более эффективно с помощью дронов, IoT-датчиков и ГЛОНАСС-мониторинга. Они в реальном времени отслеживают перемещение сырья и транспорта, что позволяет прогнозировать время прибытия с точностью до минут и исключать простои. Наиболее релевантными технологиями для Poka-Yoke являются спутниковое нивелирование спецтехники и инструменты ИИ, так как они автоматизируют контроль и физически исключают человеческий фактор в сложных рабочих процессах.

На третьем этапе активируется цифровой двойник, интегрированный с датчиками. Система IoT передаёт данные о состоянии дорожного покрытия, погоде, транспортных потоках и т.д., которые анализируются алгоритмами ИИ. На основе прогнозов планируются профилактические ремонты. Блокчейн фиксирует все финансовые транзакции и обеспечивает автоматическое начисление платежей при выполнении условий контракта. Пользователи получают информацию о состоянии дороги и времени в пути через приложения и системы навигации.

Интеграция цифровых технологий позволяет создать непрерывный информационный поток между стадиями. Это обеспечивает прозрачность, повышает эффективность принятия решений и формирует единую информационную среду, доступную всем участникам ГЧП.

Комплексное применение BIM, цифровых двойников, IoT и AI решает большинство проблем дорожного строительства – от фрагментации данных до дефицита ресурсов. Блокчейн актуален для обеспечения прозрачности и безопасности транзакций, а ГИС и AR/VR дополняют основные технологии.

Таким образом, цифровизация дорожного хозяйства – это ключевое направление модернизации инфраструктуры и, в то же время, необходимое условие успешной реализации проектов на основе ГЧП. Исследование показало, что применение BIM-технологий, цифровых двойников, IoT, искусственного интеллекта, блокчейна и ГИС существенно повышает эффективность управления проектами, снижает издержки и обеспечивает прозрачность взаимоотношений между государством и инвесторами. Однако стоит учитывать тот факт, что при использовании передовых технологий могут возникнуть такие трудности, как высокие расходы на внедрение, несовершенство законодательной базы в этой сфере и риски информационной безопасности.

Литература

1. Диденко Д. Н. Цифровая трансформация сферы транспорта и дорожного хозяйства России // Вестник науки. – 2024. – Т. 2, № 12 (81). – с. 973–982.
2. Вышел в свет информационно-аналитический Дайджест АИИК о состоянии ГЧП в России в 2023 году // Ассоциация инфраструктурных инвесторов и кредиторов (АИИК). 2024.
3. Buuveibaatar, M.; Shin, S.; Lee, W. Digital Twin Framework for Road Infrastructure Management. Appl. Sci. 2025, 15, 5765.
4. Душкин Р. Цифровая трансформация обеспечит улучшение дорожной инфраструктуры // Российская академия транспорта. 2023. 20.
5. Инновации и цифровизация в дорожном строительстве // Электронный путевой журнал. 2024.
6. Черемисин И. О., Черемисина Е. Н. Эффективность использования ГИС-технологий в дорожном строительстве: анализ, сравнение и рекомендации // Вестник науки. 2025. №10 (91).
7. Талалай Е.А., Кужепикшева А.Д., Маринин А.Н., Бреус Н.Л. Анализ применения технологий расширенной реальности в строительной отрасли // Вестник евразийской науки. 2025. №2.
8. Самыловских Д.В. Интеграция гибридного подхода в систему управления дорожно-строительными проектами на основе ГЧП // Экономическое развитие России. 2026. №8.

Digitalization of Project Management in the Road-Sector PPP (Public-Private Partnership)

Samylovskikh D.V.

MGIMO University (Ministry of Foreign Affairs of Russia)

JEL classification: B00, D20, E22, E44, L23, L51, L52, M11, M20, M30, Z33

This article examines trends and challenges in implementing digital transformation tools in road construction projects under public-private partnerships (PPPs). It is established that modern digital technologies applied in the road project lifecycle include building information modeling), digital twins, the Internet of Things, big data analytics, blockchain, geoinformation systems, and virtual reality. The study developed a conceptual model for managing road construction projects using digital tools, aimed at improving design quality, reducing construction timelines, increasing transparency, and improving operational maintenance.

Keywords: road construction, public-private partnerships, project management, digitalization, lifecycle management.

References

1. Didenko D. N. Digital Transformation of the Transport and Road Sector in Russia // Vestnik nauki. – 2024. – Vol. 2, No. 12 (81). – pp. 973–982.
2. The AIIC Information and Analytical Digest on the State of PPP in Russia in 2023 has been published // Association of Infrastructure Investors and Lenders (AIIC). 2024.
3. Buuveibaatar, M.; Shin, S.; Lee, W. Digital Twin Framework for Road Infrastructure Management. Appl. Sci. 2025, 15, 5765.
4. Dushkin R. Digital Transformation Will Improve Road Infrastructure // Russian Academy of Transport. 2023. 20.
5. Innovations and Digitalization in Road Construction // Electronic Travel Journal. 2024.
6. Cheremisin I. O., Cheremisina E. N. The effectiveness of using GIS technologies in road construction: analysis, comparison, and recommendations // Vestnik nauki. 2025. No. 10 (91).
7. Talalay E. A., Kuzhepiksheva A. D., Marinin A. N., Breus N. L. Analysis of the use of extended reality technologies in the construction industry // Vestnik evraziyskoy nauki. 2025. No. 2.
8. Samylovskikh D.V. Integration of a hybrid approach into the management system for road construction projects based on PPP // Economic Development of Russia. 2026. No. 8.