

М. В. Дементьев¹, В. А. Павленко¹✉

Управленческий потенциал цифровых двойников: формирование по данным аэрофотосъёмки и лазерного сканирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: lera-pavlenko1@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена институциональным и технологическим разрывом между накопленными массивами пространственных данных (аэрофотосъёмка, лазерное сканирование) и их фактическим использованием в управленческих решениях. Большинство цифровых двойников территорий остаются визуализационными моделями, не интегрированными в процессы планирования и контроля. Цель работы - разработка методологического подхода к формированию управленческого потенциала цифровых двойников на основе данных дистанционного зондирования. Исследование базируется на системном анализе технологических циклов обработки данных, моделировании управленческих сценариев и сравнительном анализе отечественных и зарубежных платформ. Предложена трехуровневая методика трансформации первичных данных в управленческие факторы. Разработаны типовые сценарии использования: мониторинг градостроительных изменений, конфликтный анализ высотных параметров застройки, прогнозирование зон видимости объектов. Научная новизна заключается в обосновании принципа «управленческого фактора» - перехода от пассивной модели к активному инструменту выявления дефектов планирования. Практическая значимость состоит в создании референсной модели формирования цифрового двойника, применимой в региональных системах градостроительной деятельности.

Ключевые слова: стратегическое планирование, пространственное планирование, интеграция планирования, управление территориальным развитием, цифровой помощник, стейкхолдеры, предприниматели

M. V. Dementiev¹, V. A. Pavlenko¹✉

Managerial potential of digital twins: formation based on aerial photography and laser scanning data

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: lera-pavlenko1@yandex.ru

Abstract. The relevance of the study is due to the institutional and technological gap between accumulated spatial data arrays (aerial photography, laser scanning) and their actual use in managerial decision-making. Most digital twins of territories remain visualization models that are not integrated into planning and control processes. The aim of the work is to develop a methodological approach to forming the managerial potential of digital twins based on remote sensing data. The research is based on a systematic analysis of data processing technological cycles, modeling of management scenarios, and a comparative analysis of domestic and foreign platforms. A three-level methodology for transforming primary data into management actors is proposed: the sensing level, the semantic reconstruction level, and the management interface level. Typical use scenarios are developed. Scientific novelty lies in substantiating the principle of the "management actor" – the transition from a passive model to an active tool for identifying planning defects. Practical significance lies in creating a reference model applicable to regional urban planning systems.

Keywords: digital twin, managerial potential, aerial photography, laser scanning, LiDAR, spatial data, territorial management, semantic model

Введение

В российской системе управления территориальным развитием наблюдается устойчивый дисбаланс: объёмы пространственных данных, получаемых методами аэрофотосъёмки и лазерного сканирования (воздушное и наземное LiDAR), ежегодно растут, однако их управленческий потенциал используется крайне неэффективно. Большинство цифровых двойников территорий создаются как визуально привлекательные, но управленчески «немые» 3D-модели. Отсутствие методологии трансформации первичных геоданных в акторы принятия решений приводит к тому, что цифровые двойники не становятся частью реальных управленческих циклов - от планирования до контроля.

Цель исследования – разработка методологического подхода к формированию управленческого потенциала цифровых двойников на основе данных аэрофотосъёмки и лазерного сканирования.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- выявить управленческие дефициты существующих цифровых двойников территорий;
- определить архитектуру трансформации «данные → модель → управленческое действие»;
- разработать методику семантического обогащения облаков точек и ортофотопланов;
- апробировать предложенный подход на типовых управленческих сценариях.

Объект исследования - цифровые двойники территорий как инструмент пространственного управления.

Предмет - процесс преобразования первичных данных дистанционного зондирования в управленческий потенциал (способность модели инициировать или обосновывать решение).

Гипотеза исследования. Управленческий потенциал цифрового двойника определяется не разрешением или детальностью модели, а наличием встроенных семантических связей между геометрией объекта и нормативно-правовыми, плановыми, градостроительными ограничениями.

Научная новизна заключается в обосновании принципа «управленческого актора» - перехода от пассивной 3D-визуализации к модели, которая автоматически выявляет конфликты между фактическим состоянием территории и документами стратегического/пространственного планирования.

Практическая значимость состоит в создании референсной модели формирования цифрового двойника, применимой при модернизации государственных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД).

Методы и материалы

К методам исследования относятся: системный анализ технологических циклов обработки данных аэрофотосъёмки (цифровая фотограмметрия) и лазерного скани-

рования (LiDAR), метод семантического моделирования, сравнительный анализ российских и зарубежных платформ визуализации пространственных данных (Cesium, VIMANA, ГИС «Панорама», ГИСОГД), метод управленческого сценарирования.

Материалы включали:

- открытые наборы данных аэрофотосъёмки (пространственное разрешение до 5–10 см/пиксель);
- облака точек лазерного сканирования (плотность 10–30 точек/м²) для урбанизированных территорий;
- данные Единого государственного реестра недвижимости (кадастровые границы, этажность, назначение);
- правила землепользования и застройки, генеральные планы муниципальных образований;
- практический опыт внедрения цифровых двойников в гг. Новосибирск, Казань, Москва.

Результаты

В результате анализа выявлены три ключевых дефекта существующих цифровых двойников с точки зрения управления:

Семантическая пустота - модель содержит геометрию зданий и рельеф, но не «знает» ни правового статуса объекта, ни его принадлежности к зонам с особыми условиями использования, ни этажности по документам.

Отсутствие временной связки - двойник фиксирует состояние «на момент съёмки», но не интегрирован с динамическими данными (разрешения на строительство, уведомления о соответствии).

Разрыв с нормативной базой - модель не может сама сопоставить фактическую высоту здания (по облаку точек) с предельной высотой по ПЗЗ.

Для устранения указанных дефектов предложена трёхуровневая методика формирования управленческого потенциала.

Уровень 1. Сенсорика (первичные данные). Аэрофотосъёмка - создание ортофотопланов с разрешением, достаточным для дешифрирования объектов (не хуже 10 см/пиксель для городских территорий). Лазерное сканирование (воздушное) - получение облака точек класса «земля - здания - растительность - ЛЭП». Наземное лазерное сканирование (дополнительно) - для фасадов, исторических центров, сложных транспортных узлов.

Уровень 2. Семантическая реконструкция (модель и атрибуты). На этом уровне происходит ключевая трансформация: каждый объект модели связывается с источниками нормативной и плановой информации. Семантический слой включает онтологию градостроительных понятий и механизм геокодирования кадастровых номеров в координаты модели.

Уровень 3. Управленческие интерфейсы (цифровой двойник как среда решений). На этом уровне цифровой двойник предстаёт не как зрительская визуализация, а как панель управления с тремя типами интерфейсов.

– Мониторинговый - выявление несоответствий: «здание построено с нарушением отступа от красной линии», «фактическая высота превышает допустимую».

– Прогнозный - расчёт зон видимости вышки сотовой связи, зон затенения при проектируемой высоте.

– Конфликтный - сопоставление стратегических приоритетов территории (из СЭР) с фактическим использованием (по данным съёмки).

На основе цифровой модели рельефа и зданий (построенной по LiDAR) рассчитываются зоны прямой видимости с проектируемой конструкции. Результат - карта коммерческого потенциала рекламного места, интегрируемая в инвестиционный портал. При изменении параметров проектируемого здания модель автоматически пересчитывает: зоны затенения прилегающих участков, ветровые коридоры, нагрузку на улично-дорожную сеть (по сценарию «строительство - эксплуатация»).

Обсуждение

Предложенная методика преодолевает разрыв между геодезической «данностью» и управленческой «долженствовать». Ключевым условием реализации выступает нормативное закрепление статуса цифрового двойника как официального источника информации (в дополнение к кадастровым и градостроительным данным).

Частота выявления конфликтов между фактическим состоянием (по LiDAR/фото) и документами планирования может служить индикатором качества управления территорией. Например, если в квартале фиксируется 15 % зданий с превышением предельной высоты - это сигнал о системном дефекте либо градостроительного контроля, либо самих ПЗЗ.

Ограничением метода является стоимость регулярной аэросъёмки и лазерного сканирования. Для муниципалитетов с низкой плотностью налоговой базы предлагается ярусный подход:

- для центральных и инвестиционно-активных зон - ежегодное обновление;
- для периферии - один раз в 3–5 лет.

Сравнение с аналогами. Зарубежные платформы (Digital Twin Munich, Helsinki 3D+, Virtual Singapore) обладают высоким управленческим потенциалом, но их адаптация к российскому нормативно-правовому полю невозможна без перепроектирования семантического слоя. Предлагаемая методика учитывает специфику РФ: ПЗЗ, градостроительные регламенты, ЕГРН, зоны с особыми условиями.

Заключение

В краткосрочной перспективе предполагается апробация методики на пилотной территории (муниципальный район Новосибирской области) с созданием цифрового двойника, верифицированного по трём сценариям. Среднесрочная перспектива - включение требований к семантическому обогащению в технические задания на аэрофотосъёмочные и лазерно-сканирующие работы по государственным конт-

рактам. Долгосрочная перспектива - интеграция управленческого потенциала цифровых двойников в региональные инвестиционные стандарты и ГИСОГД в качестве обязательного модуля конфликтного анализа «факт - план - норма».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов И.Т., Баранов Ю.Б. Цифровые двойники в градостроительстве: технологии и перспективы // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2024. – № 3. – С. 44–56.
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : от 29.12.2004 № 190-ФЗ : (ред. от 25.12.2023). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Карпик А.П., Лисицкий Д.В. Геопространственное обеспечение территориального управления // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28. – № 2. – С. 23–37.
4. Комиссаров Д.В. Управленческий потенциал данных дистанционного зондирования Земли // Региональная экономика и управление. – 2025. – № 1. – С. 88–101.
5. Лебедев Н.Н. Методы лазерного сканирования в создании цифровых двойников городов. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. – 210 с.
6. О стратегическом планировании в Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ. – URL: <https://normativ.kontur.ru> (дата обращения: 02.06.2026).
7. Середович В.А., Алтынцев М.А. Цифровые двойники территорий: от визуализации к управлению // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2025. – № 1. – С. 124–132.
8. Шнипер Р.И. Пространственные данные в системе управления регионом // ЭКО. – 2024. – № 6. – С. 78–94.

© М. В. Дементьев, В. А. Павленко, 2026