

*М. В. Мурзинцева*<sup>1</sup>✉

## **Методика формирования цифрового двойника на основе данных инженерно-геодезических изысканий**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: murzmv@mail.ru

**Аннотация.** Цифровые двойники территорий становятся ключевым инструментом управления инфраструктурой. В статье представлена методика формирования цифрового двойника территории на основе данных инженерно-геодезических изысканий. Методика объединяет разнородные пространственные данные (наземную и аэросъемку, лазерное сканирование, георадарное обследование, атрибутивную информацию) в единой цифровой среде. Апробация выполнена в рамках проекта «Цифровой двойник градостроительной отрасли Сахалинской области» с использованием отечественной платформы Geocad System Enterprise Edition (GSEE). Сформированный цифровой двойник позволяет выполнять пространственный анализ, выявлять пересечения и несоответствия в расположении инженерных коммуникаций, интегрировать данные различных ведомств, обеспечивать удаленный доступ к актуальной пространственной информации, визуализировать глубину залегания подземных сетей, а также автоматизировать процессы согласования и поддержки принятия решений в градостроительной деятельности.

**Ключевые слова:** цифровой двойник территории, инженерно-геодезические изыскания, объединение пространственных данных, семантическое обогащение, инженерные коммуникации

*M. V. Murzintseva*<sup>1</sup>✉

## **Methodology of building a longitudinal profile of underground utilities during engineering surveys**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: murzmv@mail.ru

**Abstract.** Digital twins of territories are becoming a key tool for infrastructure management. The article presents a methodology for forming a digital twin of a territory based on engineering and geodetic survey data. The methodology integrates heterogeneous spatial data (ground and aerial surveying, laser scanning, ground-penetrating radar survey, attribute information) into a unified digital environment. The approbation was carried out within the framework of the project “Digital Twin of the Urban Planning Industry of the Sakhalin Region” using the domestic platform Geocad System Enterprise Edition (GSEE). The formed digital twin enables spatial analysis, identification of intersections and inconsistencies in the location of engineering communications, integration of data from various departments, remote access to up-to-date spatial information, visualization of the depth of underground networks, as well as automation of coordination processes and decision-making support in urban planning activities.

**Keywords:** digital twin of territory, engineering and geodetic surveys, spatial data integration, semantic enrichment, engineering communications

## ***Введение***

В последние годы концепция цифровых двойников (Digital Twin) получила широкое распространение в управлении промышленными предприятиями, городскими территориями и инженерной инфраструктурой. Согласно аналитическим прогнозам мировой рынок цифровых двойников демонстрирует устойчивый рост, что подтверждается увеличением финансирования и инвестиций в компании, разрабатывающие цифровые технологии [1].

Согласно ГОСТ Р 57700.37-2021 цифровой двойник представляет собой систему, состоящую из цифровой модели и двусторонних информационных связей с физическим объектом, что предполагает непрерывный обмен данными [2]. Истоки концепции восходят к идее «модели зеркальных пространств», предложенной Майклом Гривзом в 2002 году [3].

Однако, практическая реализация этой концепции сталкивается с серьезным ограничением, так как исходные данные инженерно-геодезических изысканий, являющиеся первичным источником пространственной информации, поступают в разрозненном виде и в различных системах координат [4]. В процессе изысканий формируются ортофотопланы с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), облака точек наземного лазерного сканирования, радиограммы георадарного обследования, результаты тахеометрической и ГНСС-съемок, а также атрибутивная информация – технические паспорта, исполнительные схемы, акты. Традиционно эти материалы обрабатываются и хранятся в разных программных средах, что затрудняет их комплексное использование для целей проектирования и эксплуатации инженерных сооружений различного назначения.

Значительный потенциал для создания цифровых двойников территорий открывает применение технологий искусственного интеллекта, в частности для распознавания объектов инфраструктуры, мониторинга экзогенных геологических процессов и прогнозирования изменений [5, 6, 7]. В работах [8, 9] продемонстрированы подходы к созданию цифровых двойников склонов для оценки оползневых рисков в реальном времени, а в работе [10] предложены стратегии создания систем экологического мониторинга на базе цифровых двойников.

Цель настоящей работы – разработка и апробация методики формирования цифрового двойника на основе данных инженерно-геодезических изысканий, обеспечивающей объединение разнородных пространственных данных в единую цифровую среду.

### ***Методика формирования цифрового двойника***

Разработанная методика базируется на общих принципах работы с пространственными данными. Для апробации выбрана отечественная платформа GSSE, включенная в Реестр российского ПО [11], которая обеспечивает поддержку различных систем координат с автоматическим пересчетом, импорт пространственных форматов (GeoTIFF, LAS, DWG, DXF, SHP) и инструменты семантического обогащения.

Принципиальной особенностью методики является разделение функций. Так полевые измерения и первичная камеральная обработка выполняются в специализированном программном обеспечении (уравнивание сетей, построение ортофотопланов, фильтрация облаков точек), а платформа GSEE выступает как интеграционное ядро, в которое сводятся уже обработанные данные.

Методика включает пять последовательных этапов.

*Этап 1. Планирование и выбор технологического комплекса.* На основе технического задания разрабатывается программа изысканий. В зависимости от рельефа, плотности застройки и насыщенности инженерных коммуникаций формируется технологический комплекс, включающий следующие средства измерений: ГНСС-приемники для построения опорной сети; электронные тахеометры для детальной съемки; БПЛА для аэрофотосъемки; наземные лазерные сканеры для фиксации сложных узлов; георадары и трассоискатели для выявления подземных коммуникаций; цифровые камеры для фотофиксации.

*Этап 2. Проведение полевых работ и их первичная обработка.* Выполняются полевые измерения, результаты которых фиксируются в их исходных системах координат. Первичная обработка производится в специализированном ПО: уравнивание ГНСС- и тахеометрических сетей, построение ортофотопланов, фильтрация и классификация облаков лазерного сканирования, интерпретация георадарных данных.

*Этап 3. Импорт обработанных данных в платформу.* В платформу загружаются уже обработанные данные в выходных форматах (GeoTIFF, LAS, DWG, DXF, SHP, таблицы, PDF). Ключевым требованием на этом этапе является сохранение информации об исходной системе координат каждого объекта. Платформа фиксирует эту информацию и в дальнейшем использует ее для автоматического пересчета.

*Этап 4. Семантическое обогащение и установление связей.* Каждый графический объект наделяется атрибутивными характеристиками: для трубопроводов – диаметр, материал, глубина заложения, год ввода в эксплуатацию; для земельных участков – кадастровый номер, площадь. Также наносятся слои ограничений (зоны с особыми условиями использования территорий, охранные зоны, объекты культурного наследия) и устанавливаются связи между объектами и привязываются внешние документы (исполнительные схемы, акты, фотографии).

*Этап 5. Формирование цифрового двойника и верификация.* Пользователь работает в выбранной проектной системе координат (например, в местной системе координат). Платформа автоматически отображает все объекты, пересчитывая их координаты из исходных систем в целевую, что обеспечивает их идеальное взаимное положение. Выполняется проверка полноты данных и выявление пространственных коллизий.

### ***Результаты апробации***

Апробация разработанной методики проведена на объекте в рамках проекта «Цифровой двойник градостроительной отрасли Сахалинской области» (рис. 1) [12].

В рамках проекта созданы трехмерные модели 20 населенных пунктов на общую площадь 750 квадратных километров, а также ортофотопланы всех населенных пунктов региона масштаба 1:500 на общую площадь 1700 квадратных километров. Сформирована цифровая карта территорий мастер-планирования, содержащая информацию об основных площадках мастер-планов, сведения из генеральных планов и правил землепользования и застройки, а также данные об инженерных коммуникациях.

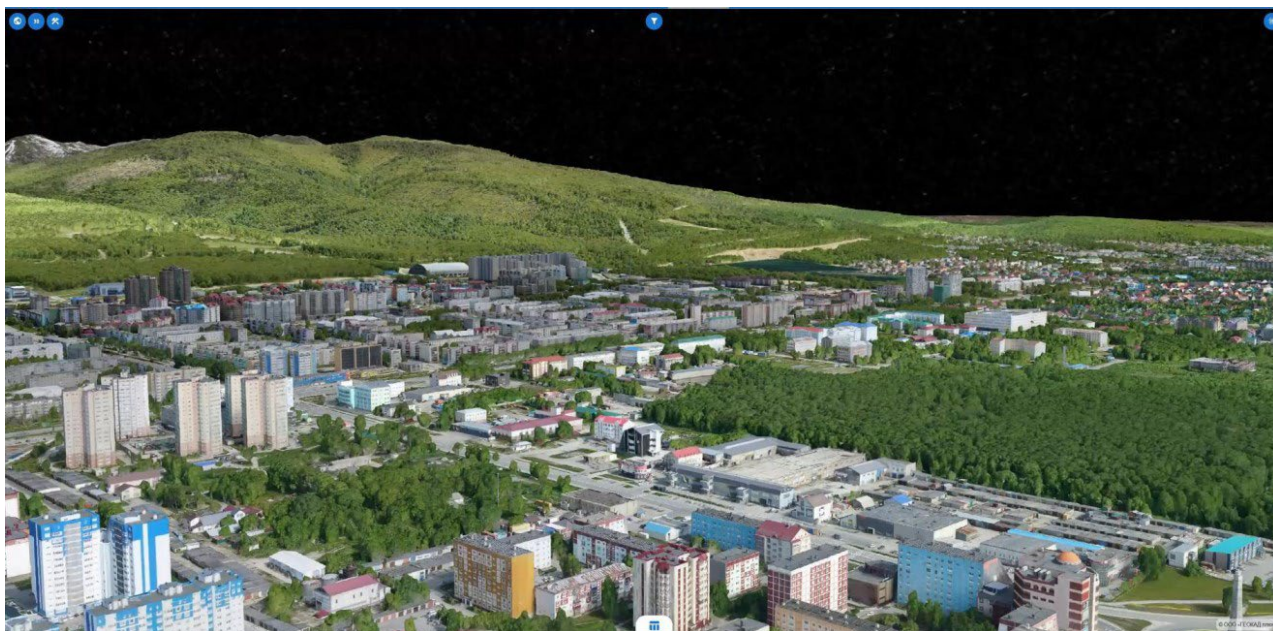


**Рис. 1.** Цифровой двойник градостроительной отрасли Сахалинской области

Цифровой двойник обеспечивает удаленный доступ к пространственным данным через веб-клиент и мобильное приложение. На платформе реализованы дашборды с автоматическим обновлением данных, позволяющие отслеживать ключевые показатели градостроительной деятельности в режиме реального времени. В рамках пилотного проекта по формированию трехмерного плана надземных и подземных коммуникаций с использованием данных воздушного и наземного лазерного сканирования была обеспечена визуализация глубины залегания и высоты прохождения инженерных сетей, что критически важно при планировании земляных работ и проектировании новых объектов. Также реализован пилотный проект по автоматической векторизации коммуникаций с применением искусственного интеллекта, позволяющий выявлять несоответствия имеющихся сведений реальному положению объектов.

Опыт Сахалинской области показывает, что формирование цифрового двойника на основе данных инженерно-геодезических изысканий создает основу для прогнозирования изменений, пространственного анализа и поддержки управленческих решений. Интеграция с системами мониторинга (регулярная аэросъемка, данные с БПЛА, лазерное сканирование, камеры наблюдения) и применение технологий искусственного интеллекта расширяют функционал цифрового двой-

ника, позволяя не только фиксировать текущее состояние территории, но и моделировать сценарии ее развития, выявлять потенциальные риски и оптимизировать планирование.

### *Заключение*

Разработана методика формирования цифрового двойника на основе данных инженерно-геодезических изысканий, включающая этапы планирования, первичной обработки в специализированном ПО, импорта в цифровую платформу, семантического обогащения и верификации. Апробация методики выполнена на платформе GSEE, что подтвердило ее работоспособность.

Сформированный цифровой двойник позволяет выполнять пространственный анализ, выявлять пересечения и несоответствия в расположении инженерных коммуникаций, интегрировать данные различных ведомств, обеспечивать удаленный доступ к актуальной пространственной информации, визуализировать глубину залегания подземных сетей, а также автоматизировать процессы согласования и поддержки принятия решений.

Предлагаемая методика может быть применена при формировании цифровых двойников промышленных предприятий, ведении корпоративных ГИС, в градостроительном планировании и при производстве инженерно-геодезических изысканий для линейных объектов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Digital Twin Market (By Solutions: Component, Process, System; By Applications: Agriculture, Manufacturing, Telecommunication, Aerospace & Defense, Retail & Consumer Goods, Residential & Commercial, Healthcare & Lifesciences, Energy & Utilities, Automotive & Transport) – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2023–2033 [Электронный ресурс] // Precedenceresearch.com. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/digital-twin-market> (дата обращения: 20.01.2026).
2. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2021.
3. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. – Springer International Publishing Switzerland, 2017. – P. 85–113. – DOI 10.1007/978-3-319-38756-7\_4.
4. Мурзинцева М.В., Минченко Е.В., Терещенко В.Е., Мурзинцев М.Н. Совершенствование методики выполнения инженерно-геодезических изысканий для проектирования подземных коммуникаций // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 50–59. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-50-58.
5. Гвоздева О.В., Тынышева А.М., Гасанов А.З., Колбнева Е.Ю. Цифровые двойники или как рационально использовать территории // Московский экономический журнал. – 2025. – № 3.
6. Возможности применения цифровых двойников территорий и искусственного интеллекта для мониторинга экзогенных геологических процессов в Тюменской области // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2025. – Т. 11 (21). – Вып. 1. – С. 307–316.
7. Esomchukwu Chinagorom Igboke, Oliha Andrew. Potential for the Integration of Digital Twin and AI Technology in Gully Mapping and Prediction // International Journal of Engineering Research and Development. – 2024. – Vol. 20 (5). – P. 199-207.

8. Ju L., Xiao T., He J., Xu W., Xiao S., Zhang L. A Simulation-Enabled Slope Digital Twin for Real-Time Assessment of Rain-Induced Landslide [Электронный ресурс] // SSRN. – URL: <https://ssrn.com/abstract=5037821> – DOI 10.2139/ssrn.5037821.
9. Liu X., Wang Y. Sensing time-variant risk of rainfall-induced landslides using slope digital twins // 14th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP14). – Dublin, Ireland, 2023.
10. Потапов В.П., Попов С.Е., Счастливцев Е.Л. Цифровые двойники: стратегии и подходы к созданию систем экологического мониторинга // Вычислительные технологии. – 2023. – Т. 28, № 3. – С. 167-181. – DOI 10.25743/ICT.2023.28.3.010.
11. Технологическая платформа GEOCAD SYSTEMS ENTERPRISE EDITION (GSEE) [Электронный ресурс] // ООО «Геокад плюс». – URL: <https://geocad.ru/products/tekhnologicheskaya-platforma-geosad-system-enterprise-edition-gsee/> (дата обращения: 29.04.2026).
12. Приказ министерства архитектуры и градостроительства Сахалинской области от 28.09.2022 № 3-39-18 «О системе требований к пространственным данным градостроительной деятельности Сахалинской области».

© М. В. Мурзинцева, 2026