

*Е. В. Минченко*¹✉

Геодезическое обеспечение создания цифрового двойника на основе технологии 3DGS для объектов инженерной инфраструктуры

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: ovchinnik@list.ru

Аннотация: Цифровые двойники (ЦД) становятся стандартом управления промышленными объектами. Однако, их создание связано с высокой стоимостью и трудоёмкостью получения геометрически точной и фотореалистичной 3D-основы. В статье обосновывается применение технологии 3D Gaussian Splatting (3DGS) в качестве геодезической основы для цифровых двойников объектов инженерной инфраструктуры на примере центрального теплового пункта (ЦТП). Рассмотрены требования к геодезическому обеспечению: создание планово-высотного обоснования, размещение опорных и контрольных марок, трансформирование координат, оценка точности. Сформулированы критерии, позволяющие считать 3DGS-модель пригодной для использования в качестве основы цифрового двойника.

Ключевые слова: цифровой двойник, 3D Gaussian Splatting, SLAM, геодезическая привязка, центральный тепловой пункт, опорные марки, жизненный цикл объекта

*E. V. Minchenko*¹✉

Geodetic Support for Creating a Digital Twin Based on 3DGS Technology for Engineering Infrastructure Facilities

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ovchinnik@list.ru

Abstract: Digital twins (DT) are becoming the standard for managing industrial facilities, but their creation is constrained by the cost and labor intensity of obtaining a geometrically accurate and photorealistic 3D foundation. This paper substantiates the application of 3D Gaussian Splatting (3DGS) technology as a geodetic foundation for digital twins of engineering infrastructure facilities, using a central heating point (CHP) as a case study. Requirements for geodetic support are examined, including the establishment of a plan-altitude reference network, the placement of reference and check targets, coordinate transformation, and accuracy assessment. Criteria are formulated to determine the suitability of a 3DGS model for use as a foundation for a digital twin.

Keywords: digital twin, 3D Gaussian Splatting, SLAM, geodetic referencing, central heating point, reference targets, lifecycle of a facility

Введение

Промплощадки промышленных предприятий представляют собой сложные инженерные комплексы с разветвлённой сетью коммуникаций [1]. Важным элементом инфраструктуры являются центральные тепловые пункты (ЦТП). Обследования ЦТП традиционно выполняются с использованием тахеометров и руч-

ных обмеров, что сопряжено с ограниченной детализацией получаемых данных [2, 3].

Информационная модель эволюционирует на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства (ОКС): от проектирования до его сноса. Согласно уровням наполнения модели (Level of Development, LoD), она проходит путь от LoD 0 (концепция) до LoD 5–6, где LoD 5 соответствует эксплуатационной модели, а LoD 6 – цифровому двойнику с обратной связью. Геодезические изыскания являются начальным этапом этого процесса, а результаты обследования существующих объектов – основой для наполнения эксплуатационной модели.

Согласно ГОСТ Р 57700.37-2021, цифровой двойник представляет собой систему, состоящую из трёх компонентов [4]:

- цифровой модели (геометрически точное описание объекта);
- двусторонних информационных связей (данные от объекта поступают в модель) и связи с реальным объектом (возможность воздействия).

Примером двусторонней связи могут служить инклинометры, установленные на деформационно-опасных участках, при превышении пороговых значений наклона система автоматически информирует ремонтную бригаду. 3DGS-модель в этом контексте выступает как геометрическая основа, на которую накладываются данные с датчиков.

Создание геометрически точного и визуально реалистичного слоя является наиболее трудоёмкой частью при разработке ЦД.

Технология 3D Gaussian Splatting (3DGS) позволяет получать фотореалистичные трёхмерные модели с высокой детализацией [4]. Однако 3DGS-модель, созданная по данным SLAM-сканирования, изначально существует в локальной системе координат сканера. Без геодезической привязки такая модель непригодна для использования в качестве основы цифрового двойника.

Целью статьи является обоснование возможности применения 3DGS-модели в качестве геодезической основы для цифрового двойника, также сформулировать требования к геодезическому обеспечению и определить возможность применения методики.

Задачи исследований:

1. Разработать методику создания планово-высотного обоснования для ЦТП.
2. Представить требования к опорным и контрольным маркам.
3. Сформулировать критерии пригодности 3DGS-модели для ЦД.
4. Определить границы применимости методики в зависимости от требуемой точности.

Методы и материалы

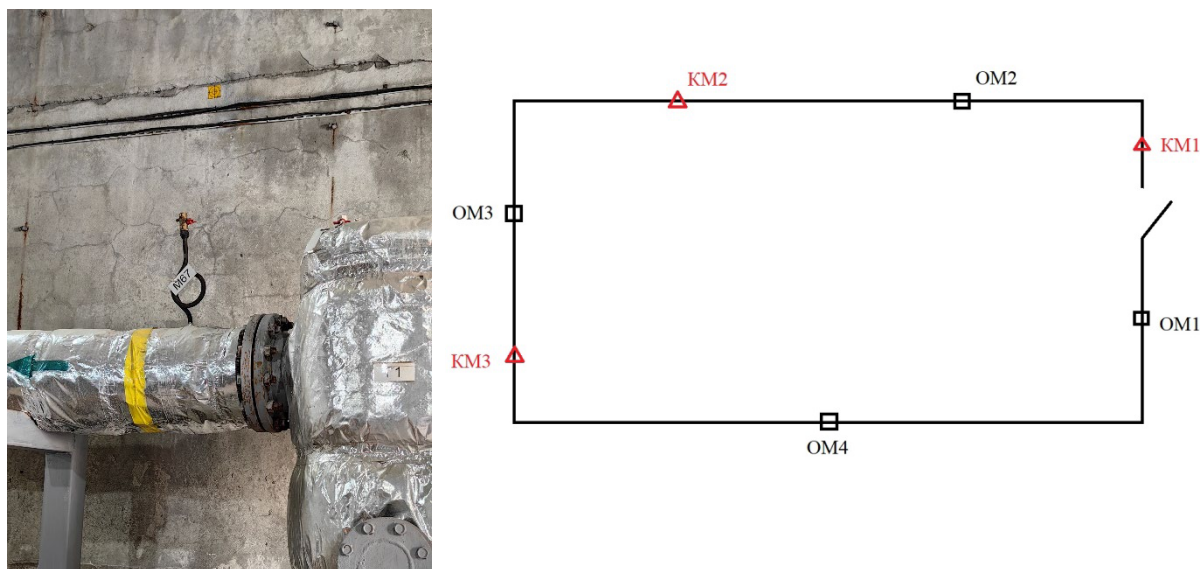
Объектом исследования является центральный тепловой пункт площадью 285 м², расположенный в отдельно стоящем здании.

В соответствии с требованиями СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» [1], пункты планово-высотного обоснования (ПВО) размещались на открытой местности, вне зон затенения.

Создание ПВО выполнялось комбинированным спутниково-тахеометрическим способом:

- с помощью спутниковых методов (режим «Статика») определены координаты 3х внешних пунктов;
- с использованием высокоточного тахеометра методом полярной засечки через открытые проёмы определены координаты 4х опорных и 3х контрольных марок, наклеенных на стены помещения ЦТП.

В ЦТП использовались светоотражающие плёнки, закреплённые на несущих строительных конструкциях (колоннах, стенах) и равномерно распределённые по площади помещения (рис. 1).



KM1-KM3 – контрольные марки, OM1-OM3 – опорные марки

Рис. 1. Пример и схема расположения опорных и контрольных марок в помещении ЦТП

Опорные марки (4 шт.) использовались для трансформирования модели, а контрольные марки (3 шт.) – для независимой оценки точности.

Съёмка ЦТП выполнялась мобильным лазерным сканером XGRIDS LixelKity K1 с паспортной точностью 12 мм [5]. Построение 3DGS-модели выполнено по методике, описанной в [6].

Методика создания геодезического обеспечения для построения 3DGS-модели приведена на рис. 2



Рис. 2. Методика создания геодезического обеспечения для построения 3DGS-модели

Преобразование из локальной системы координат сканера в опорную систему координат объекта выполнялось по четырем опорным маркам в приложении ReClouds САПР-платформы nanoCAD.

Результаты

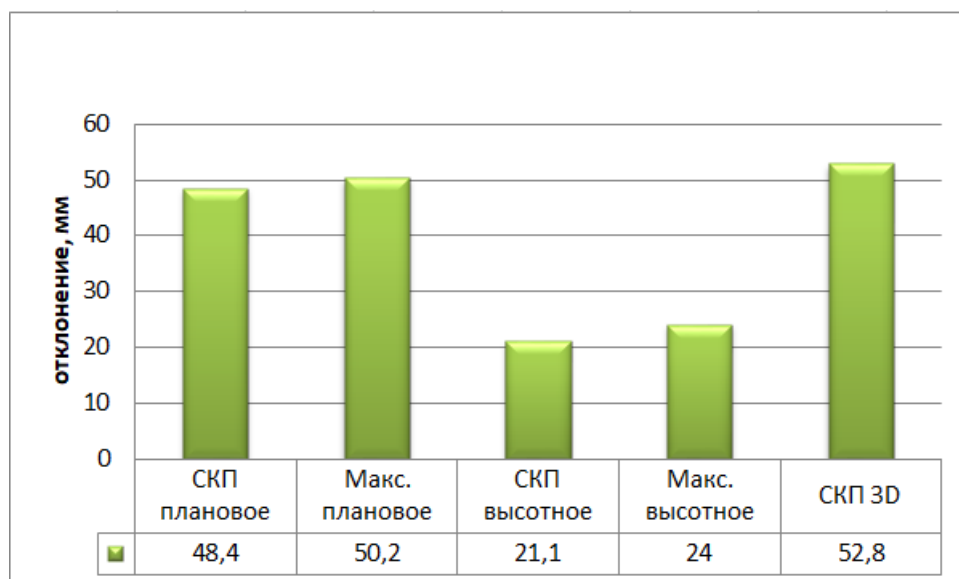
Для оценки пригодности полученной модели для решения различных инженерных задач выполнялось сравнение достигнутой точности с нормативными требованиями [2].

Отклонения контрольных марок после трансформации модели приведены в табл. 1

Таблица 1 – Отклонения контрольных марок после трансформации модели

№ марки	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔH , мм	Δ _план, мм
КМ1	33	34	24	47,4
КМ2	-35	-36	-18	50,2
КМ3	-30	-37	21	47,6

Сводные показатели точности геопривязки 3GDS-модели приведены на рис. 3.

**Рис. 3.** Показатели точности геопривязанной 3DGS-модели

Проведем сравнение полученных отклонений с СП 126.13330.2017 в табл. 2:

Таблица 2 – Сравнение с нормативами СП 126.13330.2017

Нормативный допуск	Значение, мм	Достигнуто, мм	Соответствие
Плановое для инженерных сетей	20	48.4	нет
Плановое для земляных работ	50	48.4	да
Высотное для инженерных сетей	5	21.1	нет
Высотное для земляных работ	20	21.1	Нет (превышение 1.1 мм)

Обсуждение

Нормативные документы не устанавливают жёстких требований к точности цифровой модели, но они определяются целевым назначением двойника. На основе анализа целевого назначения цифровых двойников объектов инженерной инфраструктуры предлагается ввести следующую классификацию по требуемой точности геометрической модели:

- первый уровень – визуализация, мониторинг, обучение персонала (допустимая погрешность 5–10 см);

- второй уровень – диагностика, анализ земляных работ, выявление деформаций (допустимая погрешность 1–5 см);
- третий уровень – предиктивное моделирование, управление роботизированными системами, высокоточный контроль (допустимая погрешность 1–10 мм).

Полученная 3DGS-модель соответствует первому уровню и частично второму уровню.

Ключевое преимущество 3DGS-модели перед классическими методами это фотореализм [6]. Это позволяет визуально выявлять дефекты (коррозия, протечки, состояние изоляции), обеспечивать эффект присутствия при дистанционном осмотре и интегрировать визуальную информацию с данными датчиков.

3DGS-модель с достигнутой точностью может использоваться как основа цифрового двойника в следующих случаях:

- визуального слоя (фотореалистичное отображение);
- обучение персонала (VR-тренажёры);
- визуальный мониторинг (выявление дефектов и грубых деформаций >5 см);
- контроля земляных работ (соответствие нормативу 50 мм).

Модель не предназначена для задач, требующих точности более 2 см (контроль монтажа ответственных конструкций, исполнительные съёмки для госэкспертизы).

Заключение

По результатам проведённого исследования разработана и апробирована методика геодезического обеспечения построения 3DGS-моделей для создания основы цифрового двойника объекта инженерной инфраструктуры (на примере центрального теплового пункта).

Разработанная схема создания планово-высотного обоснования комбинированным методом с применением наземных и спутниковых технологий позволяет выполнять привязку 3DGS-модели к опорной системе координат с контролируемой точностью. Трансформирование выполнялось по четырем опорным маркам.

Также 3DGS-модель возможно использовать в качестве фотореалистичного визуального слоя цифрового двойника первого уровня (визуализация, мониторинг, обучение персонала). Методику возможно применять для задач визуального контроля, выявления грубых деформаций (>5 см) и контроля земляных работ. Для более точных обмеров (точность 1–2 см) использование этой методики невозможно.

Для достижения нормативной точности для инженерных сетей рекомендуется увеличение количества опорных марок до 6–8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. – М.: Стандартинформ, 2017. – 112 с.

2. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. – М.: Стандартиформ, 2018. – 84 с.
3. ГОСТ Р 51872-2019. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. – М.: Стандартиформ, 2019. – 38 с.
4. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – М.: Стандартиформ, 2021. – 24 с.
5. XGRIDS LixelKity K1 User Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.xgrids.com> (дата обращения: 17.04.2026).
6. Kerbl B. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering / B. Kerbl, G. Kopanas, T. Leimkühler, G. Drettakis // ACM Transactions on Graphics. – 2023. – Vol. 42, No. 4. – P. 1–14.

© *Е. В. Минченко, 2026*