

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXII Международный научный конгресс

Сборник материалов в 9 т.

Т. 1

Международная научная конференция

**«ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ»**

№ 1

Новосибирск
СГУГиТ
2026

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
Г. А. Уставич

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
А. А. Шоломицкий

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
В. С. Писарев

Кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
Н. С. Косарев

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXII Международный научный конгресс,
18–22 мая 2026 г., Новосибирск : сборник материалов в 9 т. Т. 1: Междуна-
родная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография,
маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2026. № 1 – 196 с. – ISSN 2618-
981X. – Текст : непосредственный.
DOI 10.33764/2618-981X-2026-1-1

В сборнике опубликованы материалы XXII Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции
«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

Издание может содержать сведения об иностранных агентах

И. Т. Андреев ^{1✉}, А. А. Гребенников ¹

Применение комбинированного метода съемки для маркшейдерского обеспечения добычи руды способом подход-отход

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: vano.tim0feevich@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика маркшейдерского обеспечения отработки рудных блоков способом «подход-отход» на примере одного из золоторудных месторождений. Детально описан процесс съемки: от выставления проектного контура и тахеометрической съемки уступов до постобработки данных в среде Civil 3D. Представлен анализ точности применяемых приборов (GNSS-приемник Trimble R8s и электронный тахеометр Sokkia IM-105) и методика «срачивания» точек подхода и отхода для получения фактического контура добычи. На основе полученных данных выполнен сравнительный анализ с ПиР (потери и разубоживание), определены фактические потери и разубоживание. Результаты работы демонстрируют высокую эффективность предложенного подхода для контроля качества отработки и повышения полноты извлечения запасов.

Ключевые слова: маркшейдерское дело, рудный блок, GNSS, тахеометр, Civil 3D, потери и разубоживание, лазерное сканирование, Trimble R8s, Sokkia IM-105

I. T. Andreev ^{1✉}, A. A. Grebennikov ¹

Application of a combined survey method for mine surveying during approach-and-retreat mining

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: vano.tim0feevich@mail.ru

Abstract. The article discusses the methodology of surveying support for the mining of ore blocks using the "approach-retreat" method on the example of one of the gold deposits. The surveying process is described in detail: from setting out the design contour and tachymetric surveying of benches to post-processing of data in the Civil 3D environment. An analysis of the accuracy of the used instruments (Trimble R8s GNSS receiver and Sokkia IM-105 electronic total station) and the method of "merging" the approach and retreat points to obtain the actual mining contour are presented. Based on the obtained data, a comparative analysis with the design was performed, and actual losses and dilution were determined. The results of the work demonstrate the high efficiency of the proposed approach for controlling the quality of mining and increasing the completeness of reserve extraction.

Keywords: surveying, ore block, GNSS, total station, Civil 3D, losses and dilution, laser scanning, Trimble R8s, Sokkia IM-105

Введение

Современные условия разработки месторождений полезных ископаемых предъявляют жесткие требования к точности отработки рудных тел. Особенно

остро этот вопрос стоит при селективной выемке, где отклонение от проектного контура на десятки сантиметров может привести к значительным потерям металла или разубоживанию руды [1]. На большинстве горнодобывающих предприятий контроль за отработкой блоков осуществляется эпизодически, что не позволяет оперативно влиять на качество добычи.

Целью данной работы является демонстрация эффективной методики маркшейдерского обеспечения цикла «взрыв – выемка – контроль» на примере способа «подход-отход». Данная методика не только позволяет повысить точность отработки, но и создать цифровую базу для анализа потерь и разубоживания по каждому блоку [3, 4].

Методы и материалы

Объектом исследования является рудный блок (рис. 1), обрабатываемый открытым способом.

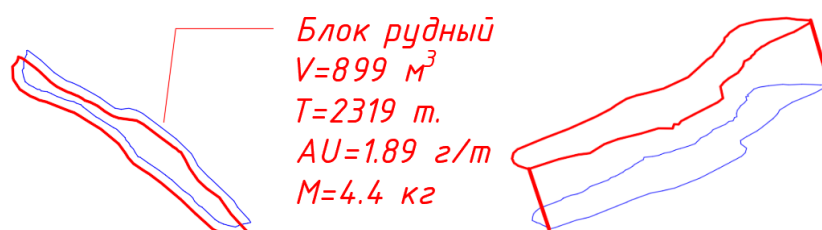


Рис. 1. Сортовой план исходного рудного блока

Для выполнения полевых маркшейдерских измерений применялся комплект высокоточного геодезического оборудования. Для выноса в натуру проектных контуров рудного сектора, а также для съемки точек верхней и нижней бровок использовался ГНСС-приемник Trimble R8s [2, 5] (рис. 2), а для съемки бортовых линий – тахеометр Sokkia IM-105 [6] (рис. 3).



Рис. 2. ГНСС-приемник Trimble R8s и контроллер TSC3



Рис. 3. Тахеометр Sokkia IM-105

В таблицах 1 и 2 представлены основные технические характеристики используемых приборов.

Таблица 1 – Основные технические характеристики тахеометра Sokkia IM-105

Характеристика	Показатель
Угловая точность	5"
Точность измерения расстояний (на призму)	2 + 2 ppm (DIN)
Точность измерения расстояний (безотраж.)	3 + 2 ppm
Компенсатор	Двухосевой, диапазон $\pm 6'$
Увеличение зрительной трубы	30х
Диапазон рабочих температур	От -35°C до $+50^{\circ}\text{C}$
Пылевлагозащита	IP66
Время непрерывной работы	До 8 часов
Масса (с батареей и тригером)	5,6 кг

Таблица 2 – Основные технические характеристики ГНСС-приемника Trimble R8s

Характеристика	Показатель
Количество каналов	440
Принимаемые сигналы	GPS (L1, L2, L2C, L5), ГЛОНАСС (L1, L2, L2P, L3), Galileo, BeiDou, SBAS, QZSS
Точность измерений в режиме RTK (в плане)	8 мм + 1 мм/км
Точность измерений в режиме RTK (по высоте)	15 мм + 1 мм/км
Время инициализации	Менее 8 секунд
Встроенная память	2 ГБ
Диапазон рабочих температур	От -40°C до $+65^{\circ}\text{C}$
Пылевлагозащита	IP67
Время непрерывной работы	До 3 часов
Масса (с батареей)	1,52 кг

Технологическая схема отработки блока способом подход-отход включает следующие этапы:

– буровзрывные работы (породный блок). Производится взрыв породного массива, после чего маркшейдерской службой выполняется вынос в натуру проектного контура подхода рудного сектора. Для этого с помощью GNSS-приемника выносятся характерные точки контура (бровки, углы поворота), которые закрепляются сигнальными вехами и лентой (рис. 4);

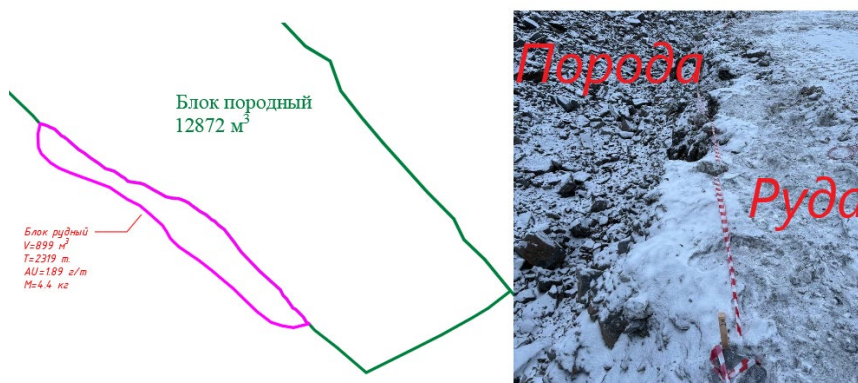


Рис. 4. Вынос подхода к рудному блоку в натуру после выполнения взрывных работ

– отработка подхода. Горная служба проводит выемку взорванной породы строго до выставленного контура, формируя рудную стенку. После завершения этого этапа производится съемка фактического положения верхов и низов уступа;

– съемка подхода. Комбинированная съемка выполняется двумя приборами: GNSS-приемником снимаются основные точки контура (верхняя и нижняя бровки), а тахеометром выполняется детальная съемка двух линий по борту для построения точной модели стенки (рис. 5);

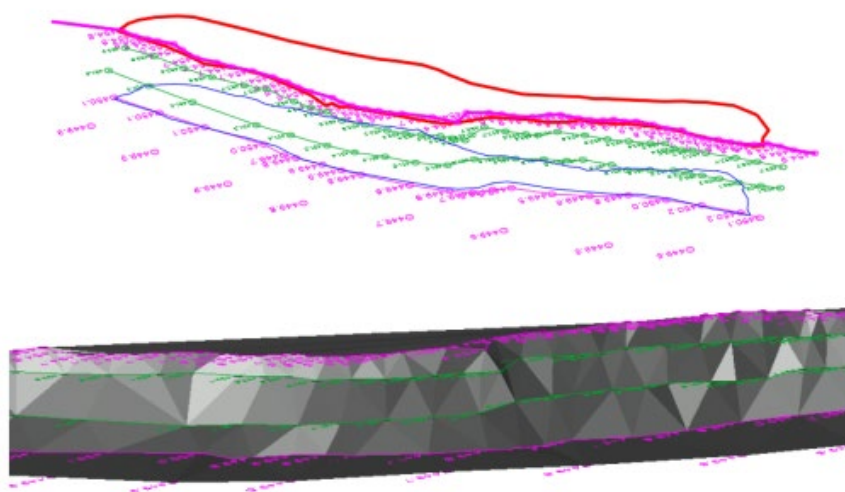


Рис. 5. Итоговая съемка подхода и полученная поверхность рудной стенки

- проектирование и взрыв блока БВР. На основе полученной модели рудной стенки проектируется блок буровзрывных работ для отбойки рудного сектора;
- отработка рудного блока и съемка отхода. После отгрузки рудной массы выполняется съемка отхода для фиксации фактического контура задней стенки выработанного пространства (рис. 6).

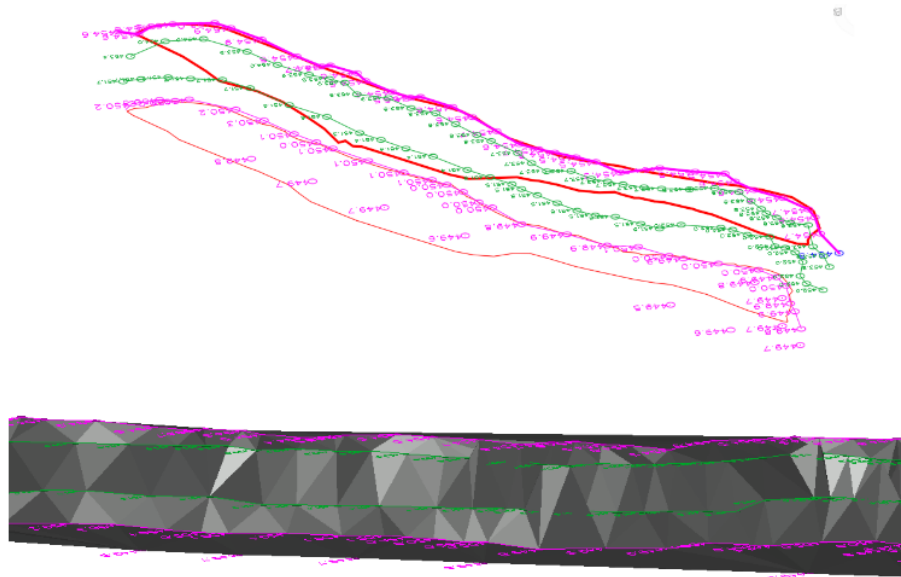


Рис. 6. Итоговая съемка отхода и полученная поверхность задней стенки

Результаты и обсуждение

После завершения съемок подхода и отхода ключевым этапом являлось «сращивание» двух съемок: путем построения поверхностей по облакам точек подхода и отхода. Полученная фактическая поверхность сравнивалась с проектной моделью блока (рис. 7), на основе чего строились разрезы и рассчитывались фактические показатели потерь и разубоживания.

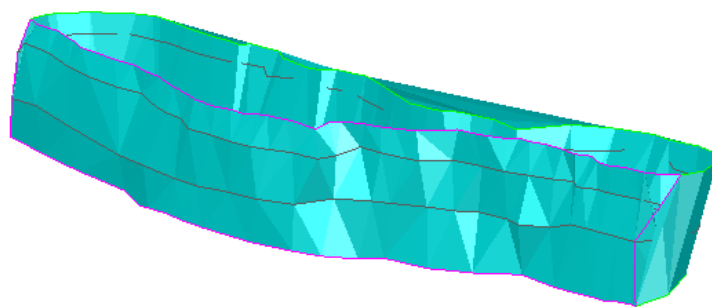


Рис. 7. Построенная модель факта добычи рудного сектора

Для визуальной оценки и количественного анализа были построены вертикальные разрезы и картограммы отклонений. На рис. 7 представлены характерные сечения, демонстрирующие фактические контуры отработки относительно проектных границ рудного тела. Визуальный анализ разрезов показывает хорошую сходимость проектных и фактических контуров в центральной части блока. Однако в приконтактной зоне зафиксированы отклонения. Максимальные значения отклонений составляют 0,4–0,5 м, которые зафиксированы в зонах, прилегающих к временно нерабочему борту карьера, что связано с повышенной трещиноватостью массива и его осыпанием после массового взрыва (рис. 8).

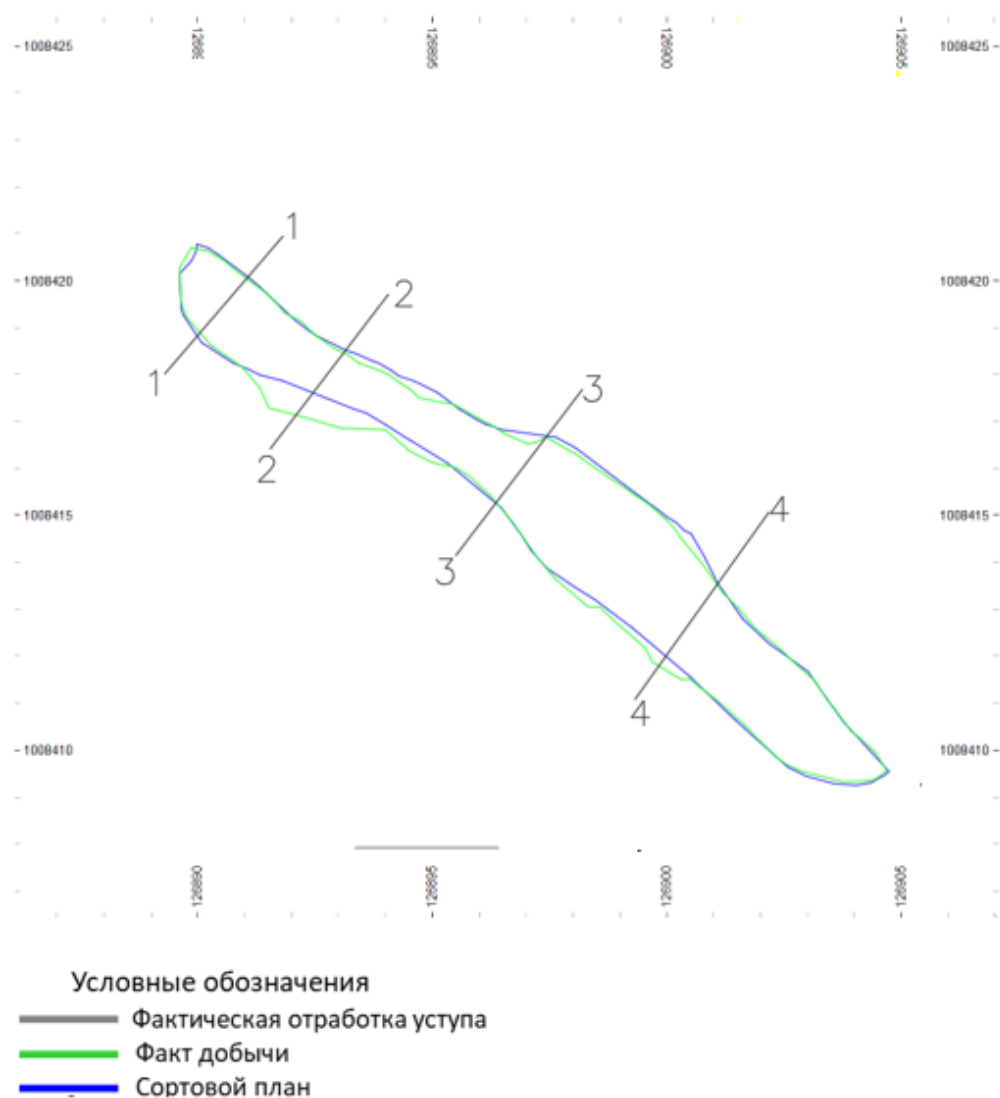


Рис. 7. Сечения фактических контуров отработки рудного тела

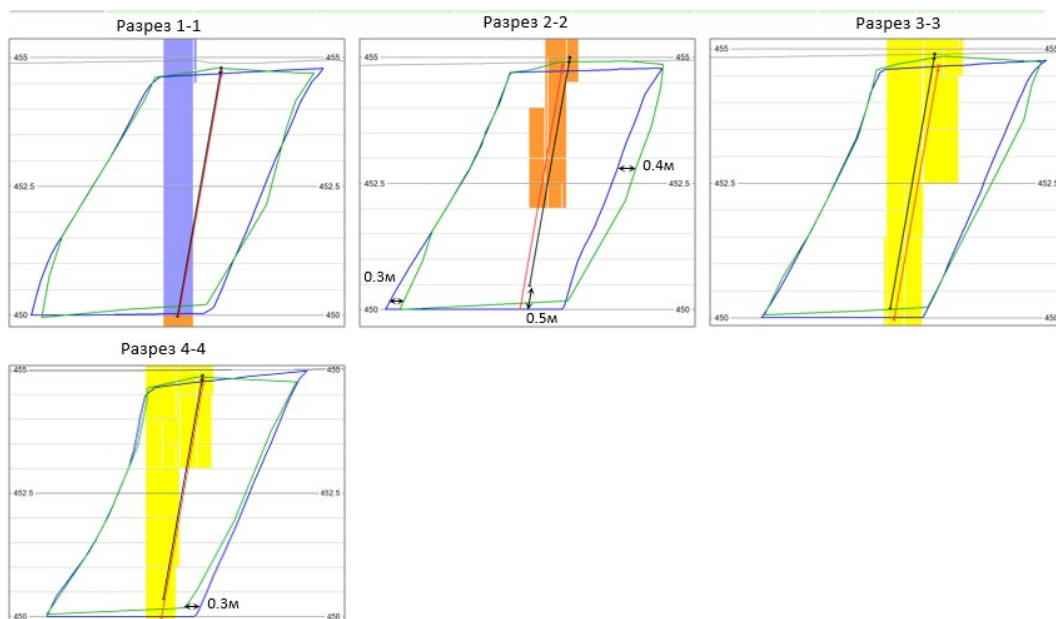


Рис. 8. Разрезы модели факта добычи рудного сектора

На основе построенных моделей были рассчитаны фактические показатели потерь и разубоживания [7]. Расчеты потерь и разубоживания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет ПиР

	Товарная руда, м ³	Балансовая руда, м ³	Порода		Потери			
			м ³	%	м ³	т	г/т	кг
План	899,44	180,24	719,20	80,00	6,34	17,72	5,84	0,10
Факт	913,51	180,13	733,38	80,28	3,10	8,31	6,31	0,05

Сравнение проектного объема руды в блоке с объемом, ограниченным поверхностями подхода и отхода, позволило определить коэффициент извлечения. Предварительный анализ показал, что потери руды в среднем по блоку не превысили проектных 5%, однако разубоживание в приконтактных зонах достигло 8–10% за счет прихвата вмещающих пород при зачистке. Эти цифры подтверждают необходимость более строгого контроля за ведением взрывных работ и выемкой именно в этих локальных участках, выявленных благодаря детальной съемке.

Заключение

Методика маркшейдерского обеспечения отработки способом подход-отход доказывает свою эффективность. Комбинация ГНСС-съемки и тахеометрической съемки позволяет с необходимой точностью и скоростью фиксировать фактические контуры добычи.

Основные выводы по работе:

– точность контроля. Методика позволяет выявлять отклонения от проекта с точностью до 0,1 м, что критически важно для селективной выемки;

– цифровизация процессов. Использование Civil 3D для обработки съемок и построения моделей автоматизирует процесс подсчета объемов и анализа показателей;

– оперативное реагирование. Ежемесячный анализ данных (ПиР) дает возможность геологам и маркшейдерам своевременно корректировать планы горных работ и влиять на качество добычи;

– выявление причин отклонений. Детальная съемка позволила установить, что основной причиной переборов является осыпание массива после взрыва.

Дальнейшее развитие методики видится в применении мобильного лазерного сканирования для полной оцифровки рудной стенки, что позволит исключить ручной этап съемки и получать максимально детальную картину состояния рудного блока на всех этапах отработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровков Ю. А. Геодезическое обеспечение горных работ : учеб. пособие / Ю. А. Боровков. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2019. – 112 с. – ISBN 978-5-8019-4321-7.

2. ГНСС-оборудование в горном деле. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «Навгеоком» : [Электронный ресурс]. – URL: <https://ngcm.ru> (дата обращения: 16.03.2026).

3. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Науч.-техн. упр. Госгортехнадзора Рос. Федерации. – Санкт-Петербург : Изд-во ВНИМИ, 1997. – 161 с.

4. Попов В. Н. Маркшейдерское дело : учебник для вузов / В. Н. Попов, В. А. Букринский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Горная книга, 2016. – 678 с. – ISBN 978-5-98672-341-9.

5. Технические характеристики ГНСС-приемника Trimble R8s. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «Trimble Geospatial» : [Электронный ресурс]. – URL: <https://geospatial.trimble.com> (дата обращения: 16.03.2026).

6. Технические характеристики тахеометра Sokkia IM-105. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «Sokkia» : [Электронный ресурс]. – URL: <https://sokkia.com> (дата обращения: 16.03.2026).

7. Шехтман Г. А. Современные геодезические методы при разработке месторождений полезных ископаемых / Г. А. Шехтман. – Текст : электронный // Геопрофи. – 2021. – № 3. – С. 24–28. – URL: <https://geoprofi.ru> (дата обращения: 16.03.2026).

© И. Т. Андреев, А. А. Гребенников, 2026

В. С. Беляков^{1✉}, М. А. Алтынцев¹

Анализ методов определения границ дорожного покрытия автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск Российская Федерация
e-mail: ss.log4533@gmail.com

Аннотация. Рассматривается возможность нахождения оптимального решения для автоматизации процесса определения границ дорожного покрытия автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования. Обсуждается задача предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования перед выполнением поиска линий бордюра с помощью методов, реализованных в различном программном обеспечении. Были рассмотрены методы распознавания линейных элементов в облаке точек, реализованные в следующем программном обеспечении: TerraScan компании Terrasolid, TopoDOT компании TopoDOT LLC и ТИМ КРЕДО 3D СКАН компании Кредо-Диалог. Приводятся особенности рассмотренных методов, обсуждаются варианты повышения качества результата с помощью применения комплекса различных автоматизированных методов. Рассматривается возможность применения итерационного подхода для решения данной задачи. Сделан вывод о зависимости результатов распознавания с помощью различных методов от качества обработки исходных данных, выбранного метода и параметров, ситуации на дороге, плотности ТЛО на характерных участках облака, точности уравнивания данных МЛС, а также об использовании характерных участков облака точек лазерного отражения для работы реализованных методов и необходимости контроля пользователем получаемых результатов распознавания.

Ключевые слова: автоматизация, мобильное лазерное сканирование, автомобильные дороги, программное обеспечение, бордюры

V. S. Belyakov^{1✉}, M. A. Altyntsev¹

A comparative analysis of methods for road pavement boundary detection based on mobile laser scanning data

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ss.log4533@gmail.com

Abstract. The possibility of finding an optimal solution for automating the process of determining road pavement boundaries using mobile laser scanning data is considered. The task of preprocessing mobile laser scanning data before searching curb lines using methods implemented in various software is discussed. There were considered methods for recognition of linear elements in point clouds implemented in next software: TerraScan by Terrasolid, TopoDOT by TopoDOT LLC, and TIM KREDO 3D SCAN by Credo-Dialog. The features of these methods are described, and options for improving the quality of results through the use of a combination of various automated methods are discussed. The possibility of using an iterative approach to solve this problem is considered. A conclusion about the dependence of the recognition results using various methods on the quality of

processing the initial data, the selected method and parameters, the situation on the road, the point cloud density in characteristic areas, the quality of mobile laser scanning data adjustment, as well as the use of point cloud characteristic areas for the operation of the implemented methods and the need for user manual control over the recognition results.

Keywords: automation, mobile laser scanning, roads, software, curbs

Введение

Для обеспечения современных нужд мониторинга и диагностики автомобильных дорог необходимо получать данные с высокой точностью и оперативностью. Больше всего критериям точности и оперативности удовлетворяет метод мобильного лазерного сканирования (МЛС). За счет высокой плотности облака точек лазерных отражений (ТЛО), получаемые методом МЛС, оптимальны для определения геометрических параметров автомобильных дорог [1].

Наибольшую сложность представляет процесс обработки данных МЛС, т. к. в результате полевого этапа специалист, производящий работы, получает большой объем данных, который содержит в себе как информацию, необходимую для получения искомого результата, так и лишние данные, к которым могут относиться люди, животные, транспорт, временные объекты и многое другое [2]. Такие объекты необходимо исключать из облака точек для упрощения дальнейшей обработки, заключающейся в распознавании отдельных объектов. Распознавание объектов обычно представляет собой длительный процесс, в котором специалист в специальном программном обеспечении (ПО), позволяющем обрабатывать облака точек, анализирует полученное облако точек по различным признакам (геометрические параметры, интенсивность, цвет). За счет такого анализа специалист в интерактивном режиме определяет наличие требуемого объекта или его элемента в облаке точек, выделяет его посредством векторизации или вписывания подходящего геометрического примитива. При большой протяженности территории сканирования возникает необходимость автоматизировать процесс распознавания.

Сегодня существует множество ПО, позволяющего производить обработку данных лазерного сканирования. К таким ПО можно отнести IndorCAD, IndorCloud компании ИндорСофт, nanoCAD ReCloud компании Нанософт, Autodesk ReCap компании Autodesk, Leica Cyclone компании Leica, TerraScan компании Terrasolid, ТороDOT компании ТороDOT LLC, ТИМ КРЕДО 3D СКАН компании Кредо-Диалог и другие. Такие ПО имеют много сходств и различий в процессе обработки данных лазерного сканирования от их загрузки и операций предварительной обработки до распознавания в облаке точек искомым 3D-объектов и определения их геометрических параметров [3]. Для ускорения этого процесса разработчики ПО задействуют различные методы и алгоритмы, в результате чего пользователь совершает минимально возможное количество операций для получения необходимого результата. Точность и достоверность результатов автоматического распознавания объектов в таком ПО сильно зависят как от внешних условий выполнения лазерного сканирования, так и от выбранных методов и алгоритмов обработки данных. Но при одних и тех же внешних условиях выполнения измерений при распознавании одного объекта в различном ПО могут быть получены качественно разные резуль-

таты. Так для получения наиболее качественного результата возникает необходимость нахождения наилучшего решения для автоматизации процесса распознавания объектов в облаке точек.

Одним из объектов распознавания в процессе обработки данных МЛС является покрытие дорожной одежды. Покрытие дорожной одежды (дорожное покрытие) – верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких слоев, непосредственно воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся прямому воздействию атмосферных факторов [4]. Определение границ дорожного покрытия служит важным этапом для дальнейшего определения различных параметров автомобильной дороги (ширина проезжей части, наличие примыкающих дорог). Также определение границ дорожного покрытия может служить промежуточным этапом распознавания других объектов (дорожная разметка, бордюры, дорожные знаки, фонарные столбы и др.).

Материалы и методы

Для автоматизированного нахождения границ дорожного покрытия автомобильной дороги по облаку точек может применяться различная информация: пространственная, интенсивность и номер отраженного сигнала. Пространственная информация позволяет отследить изменение формы поверхности (бордюрные камни). На основе изменения интенсивности отраженного сигнала можно отделить обочину. Также все перечисленные виды информации могут быть использованы в комплексе – например, для выделения травяных насаждений.

Для автоматизированного определения границ дорожного покрытия в облаке точек сперва выполняется предварительная обработка данных. Исключаются ТЛО, находящиеся на расстоянии менее половины ширины дороги перпендикулярно направлению движения системы МЛС в плановом положении с левой стороны, ТЛО, находящиеся на расстоянии более половины ширины дороги перпендикулярно направлению движения системы МЛС в плановом положении с правой стороны. Также исключаются ТЛО, находящиеся выше линии траектории. Данные действия выполняются для ускорения процесса обработки данных и уменьшения количества границ дорожного покрытия, найденных ошибочно.

Для анализа методов обработки данных МЛС в целях определения границ дорожного покрытия было выполнено распознавание бордюров по облаку точек одного и того же участка дороги в различном ПО обработки данных лазерного сканирования. На рис. 1 представлены исследуемые данные МЛС (облако точек и траектория), полученные для участка автомобильной дороги, расположенной в черте города.

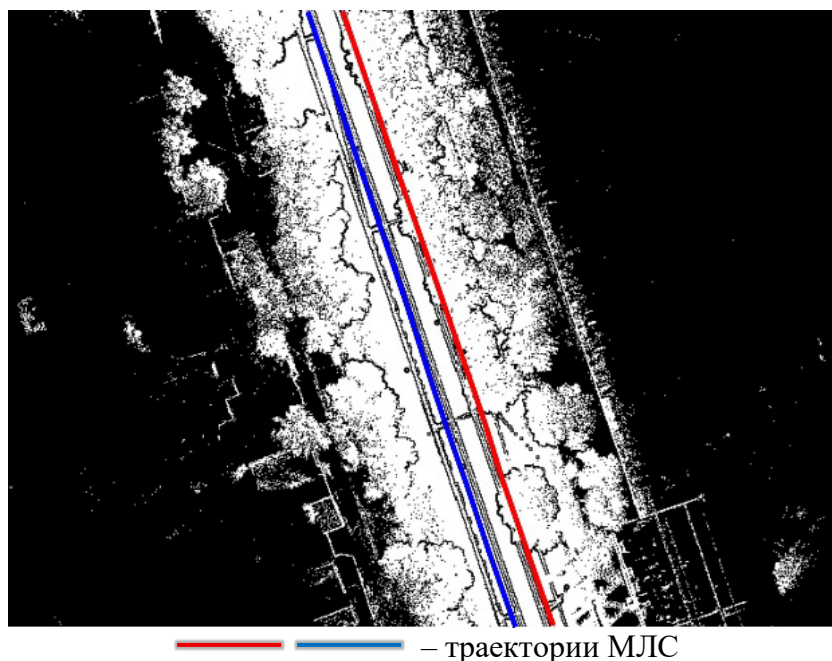


Рис. 1. Облако точек и траектории МЛС в ПО TerraScan

В ПО TerraScan применялся метод поиска бордюров вдоль элемента [5]. Для работы этого метода необходим линейный элемент. Таким элементом может быть траектория МЛС.

После выполнения предварительной обработки были исключены лишние ТЛО и применен метод поиска бордюров вдоль элемента с заданием траектории в качестве линейного элемента. В результате метод распознает линии верха и низа бордюра. На исследуемом участке было найдено 80 % линий бордюров, 5 % из которых было обнаружено ошибочно.

В результате работы метода можно выделить следующие ошибки. На рис. 2, *а* линия бордюра была ошибочно определена на земляной насыпи. Также присутствуют места разрыва линии бордюра (рис. 2, *б*). Из рис. 2, *б* видно, что найденная линия не всегда проходит по бордюру (не по углу бордюра и не на стыке бордюра и дороги). На участках дороги, где присутствуют сужение, расширение или несовпадающий с направлением линии траектории поворот, линия бордюра не распознала (рис. 2, *в*, *г*). Также присутствуют участки, где линия бордюра дублируется в одном и том же месте (рис. 2, *д*).

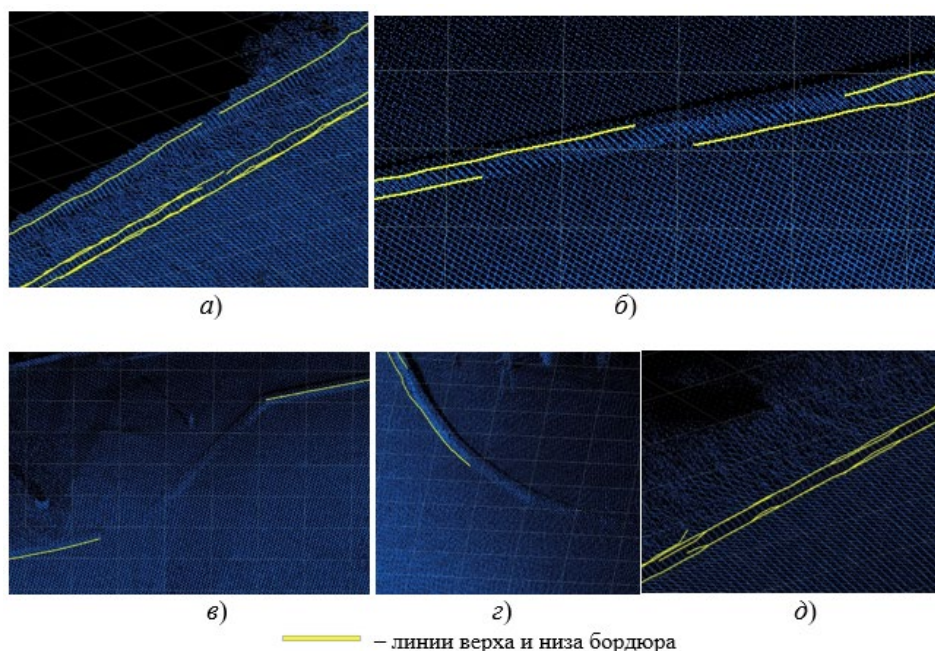


Рис. 2. Ошибки распознавания:

а) линия бордюра на земляной насыпи; б) разрыв линии бордюра; в) участок расширения дороги; г) поворот дороги; д) дублирование линии бордюра

Для обработки облаков точек в интересах дорожного хозяйства было применено ПО ToroDOT [6]. В нем присутствует метод распознавания линейных элементов, который был использован для распознавания бордюров. Этот метод требует наличия шаблона, создаваемого по поперечному сечению вдоль элементов. Для распознавания бордюров был создан их шаблон профиля в месте их прохождения. В поперечном сечении бордюра пользователь векторизует линию его профиля и указывает характерные точки, через которые будут проходить распознаваемые линии. На рис. 3 показан результат создания шаблона профиля бордюра. В качестве характерных точек отмечался верх и низ бордюра.

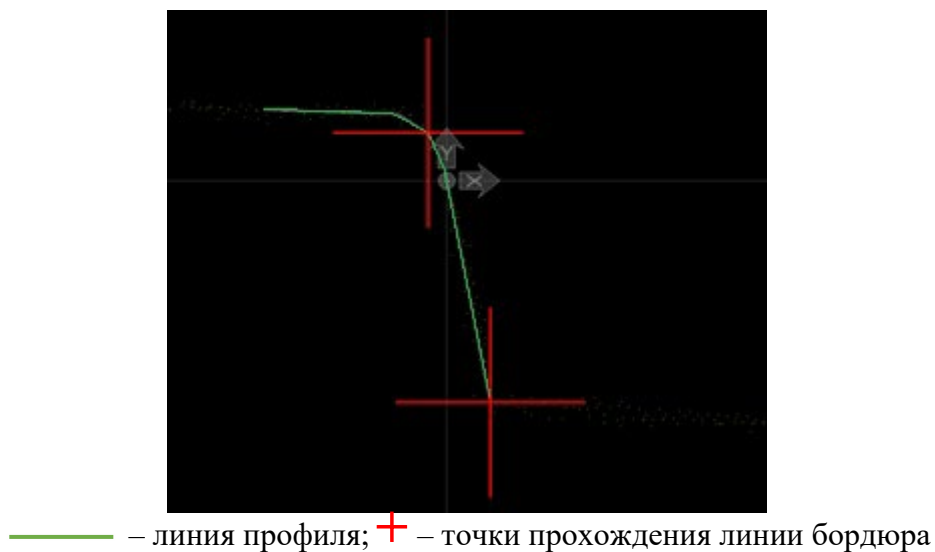


Рис. 3. Результат создания шаблона профиля бордюра

Далее на основе созданного шаблона с помощью метода распознавания линейных элементов были векторизованы линии верха и низа бордюра (рис. 4).

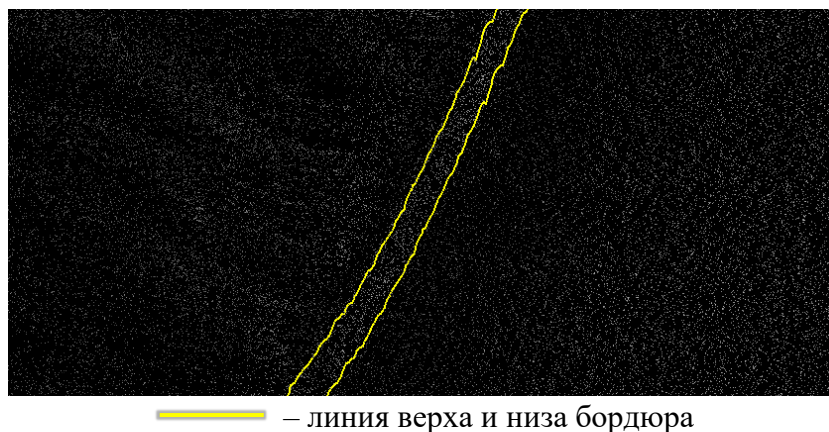


Рис. 4. Результат распознавания линий бордюра в ПО ТороDOT

В результате работы метода было распознано 90% линий бордюров, 10 % из которых было найдено ошибочно. Можно отметить, что на многих участках происходит разрыв бордюра (поворот дороги, спуск с тротуара на дорогу для пешеходов), но метод векторизует сплошную линию, не делая разрывы до окончания поиска. Также результат распознавания бордюра зависит от направления поиска.

В последних версиях ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН разработан метод для распознавания бордюров вдоль элементов [7]. До применения метода необходимо рассчитать нормали, распознать точки поверхности земли, построить цифровую модель рельефа (ЦМР) и относительно ее уровня по высоте классифицировать остальные ТЛО. Результат создания ЦМР показан на рис. 5.

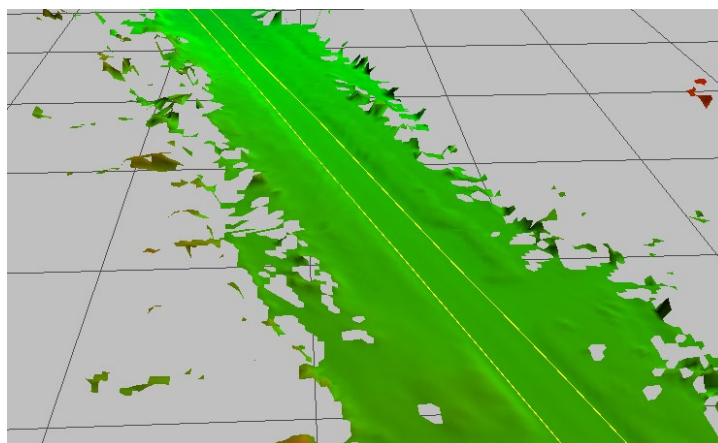


Рис. 5. ЦМР

После выполнения подготовительных операций были исключены лишние ТЛО и запущен метод распознавания бордюров вдоль элементов с заданием траектории, которой послужила ось дороги. В результате были распознаны линии

бордюра (рис. 6). На исследуемом участке было найдено 70% линий бордюров, 5 % из которых было определено ошибочно.

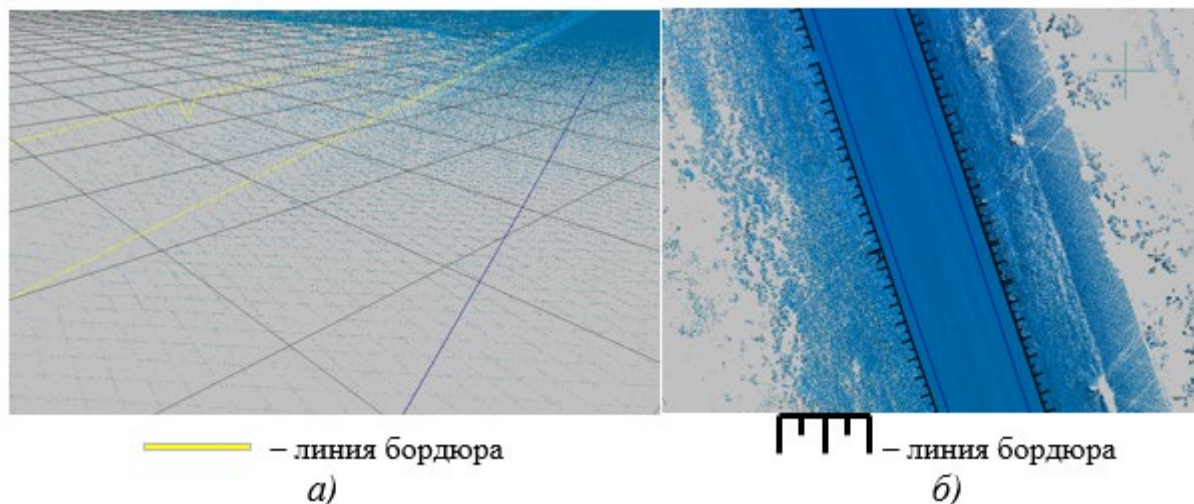


Рис. 6. Результат распознавания линии бордюра:

а) в «3D окне»; *б)* в окне «План»

На рис. 6, *а* линия бордюра дублируется. На рис. 6, *б* линия бордюра с правой стороны дороги определена повторно в одном и том же месте. На рис. 7 бордюр распознан неверно.

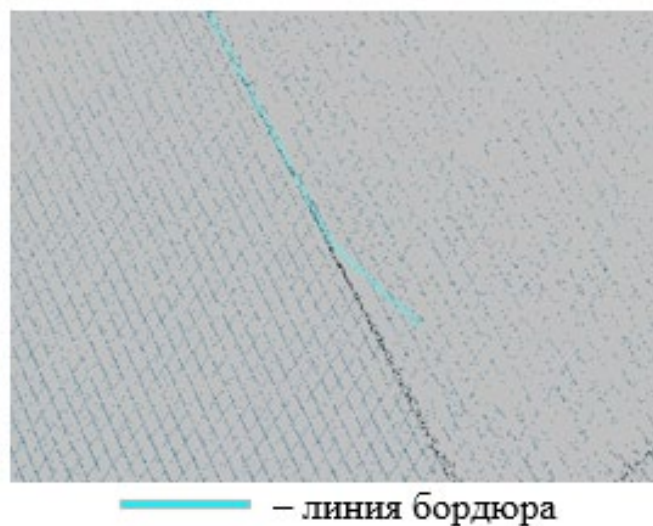


Рис. 7. Ошибочно распознанная линия бордюра

Из рис. 8 и 9 видно, что присутствуют линии бордюров, которые не были распознаны. Среди них можно выделить линии на поворотах дороги и на парковочном кармане.

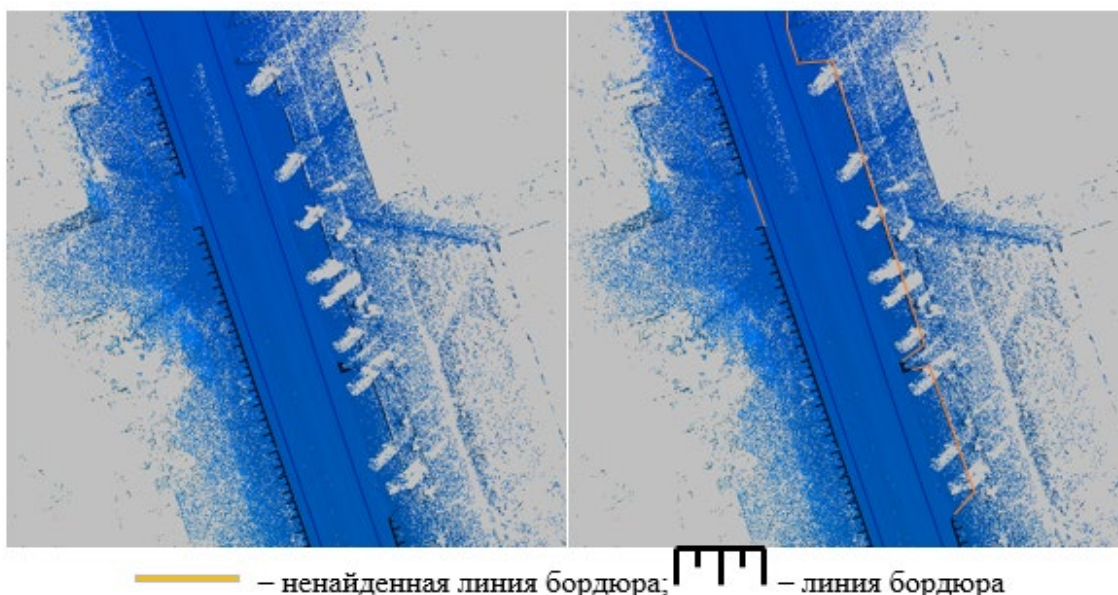


Рис. 8. Ненайденные линии бордюров вдоль прямого отрезка дороги

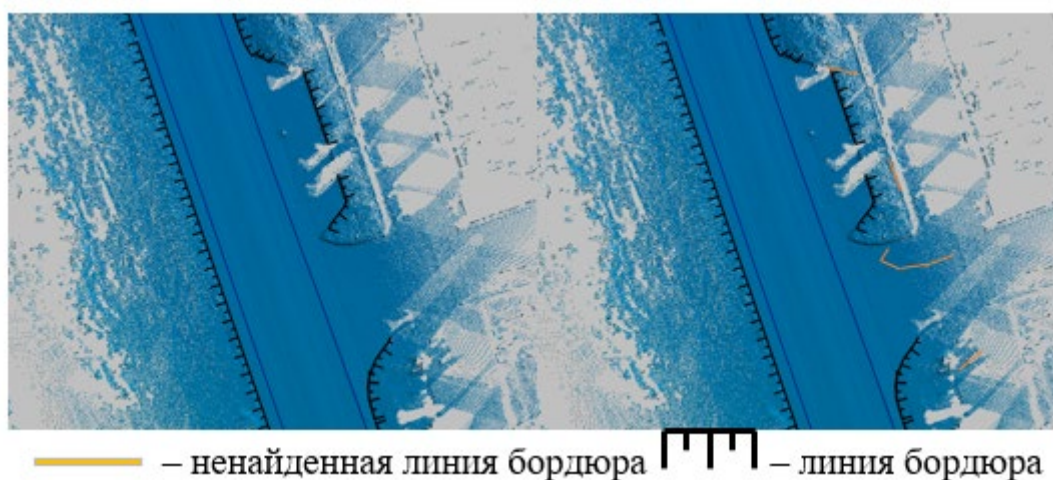


Рис. 9. Ненайденные линии бордюров на повороте дороги

Также для решения задачи распознавания бордюров можно выделить реализованный в ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН метод поиска профиля по первым двум точкам. Для этого необходимо указать первые две точки бордюра с построением профиля в сечении, после чего будет выполнено распознавание по заданному профилю в направлении указанных двух точек (рис. 10).

Линия распознается более точно, в отличие от предыдущего инструмента, но распознавание происходит только в направлении заданной линии и до первого разрыва линии бордюра различными объектами (растительность, земляная насыпь) или теневой зоны.

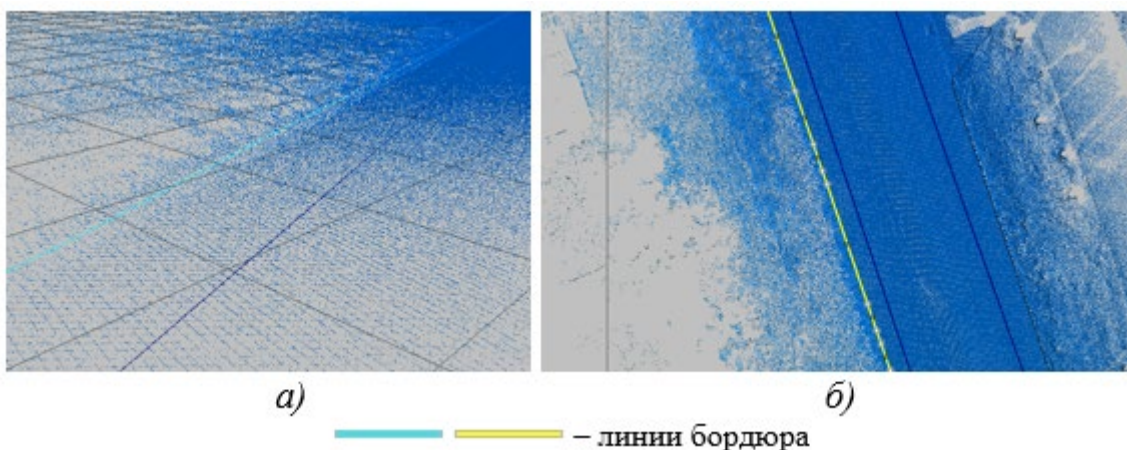


Рис. 10. Линия бордюра:

а) в «3D окне»; б) в окне «План»;

Обсуждение

В результате анализа результатов распознавания бордюров в разных ПО можно выделить общие особенности существующих методов. Во всех случаях предпочтительно иметь линейный элемент, вдоль которого метод распознавания производит поиск. В качестве такого линейного элемента удобно применять линию траектории, т. к. она является частью данных, полученных в результате выполнения полевого этапа МЛС. В таком случае линию траектории можно рассматривать исключительно как геометрический элемент.

При выборе траектории как линейного элемента для поиска бордюра качество его распознавания будет зависеть от формы траектории. Если из-за различных ошибок спутниковых определений, возникающих при выполнении полевого этапа МЛС, линия траектории может содержать резкие углы поворота. Поэтому траекторию необходимо сглаживать перед применением методов распознавания.

Качество результата поиска бордюров зависит от выбранного метода предварительной классификации ТЛО для исключения областей, которые не принадлежат бордюру. С целью повышения качества классификации можно применять соответствующие методы повторно, изменяя значения их параметров. Каждое повторное применение позволит сузить зону поиска бордюра в облаке точек и тем самым снизить вероятность неверного распознавания линий бордюров [8].

Также можно применить итерационный подход. В начале выполняется поиск бордюра с низкой точностью относительно траектории МЛС. Далее пользователь интерактивно удаляет ошибочно распознанные линии бордюра и восстанавливает в правильно распознанных разрывы. После этого снова производит поиск бордюра, но уже относительно распознанной линии с предварительно выполненной фильтрацией точек и указанием более точных параметров поиска.

В ПО TerraScan и в ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН при автоматизированном поиске бордюра вдоль линейного элемента (траектории) получаются разные результаты. В первом случае происходит определение верха и низа бордюра, а во

втором – линия строится «произвольно» относительно уровня верха и низа. В первом случае в качестве границы дорожного покрытия можно взять только нижнюю линию, тогда как во втором случае при поперечном наклоне появляется ошибка определения границы в плане. Следовательно данный метод лучше реализован в ПО TerraScan.

Можно выделить различия в методах распознавания линии бордюра по профилю в ПО ТороDOT и ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН. В первом случае происходит построение сплошной линии, игнорируя препятствия и разрывы до конца заданной области поиска, а во втором случае происходит построение линии до первого препятствия или разрыва, после чего построение прекращается. В качестве оптимального решения можно выполнить комбинацию этих методов следующим образом. В ПО ТороDOT выполнить нахождение сплошной линии, проходящей через бордюр, а затем в ПО ТИМ КРЕДО 3D СКАН через точки этой линии выполнять дополнительное построение линии бордюра с учетом наличия разрывов и препятствий.

Заключение

В статье были рассмотрены методы распознавания линейных элементов по облаку точек, реализованные в разном ПО, с целью определения границ дорожного покрытия. В качестве исходных данных были выбраны данные МЛС одного участка дороги. Были выделены недостатки каждого метода в разных ПО и предложены варианты оптимального решения.

Результаты применения рассмотренных методов распознавания зависят от качества предварительной обработки данных МЛС (фильтрации, уравнивания и классификации), задаваемых значений параметров методов, ситуации на дороге (сломанный бордюрный камень, наличие растительности, посторонних предметов, теневых зон и др.), плотности облака ТЛО на характерных участках дороги.

Рассмотренные методы распознавания используют для определения границ дорожного покрытия, в частности линий бордюров, пространственную геометрическую информацию – анализируют форму поверхностей. Поиск границ дорожного покрытия по резкому изменению интенсивности отраженного сигнала не реализовано методами существующего описанного ПО.

Для решения задачи распознавания границ дорожного покрытия по облаку точек необходимо разработать алгоритм, который включил бы в свой состав различные методы распознавания объектов и в совокупности позволил бы учесть внешние условия выполнения измерений, геометрические пространственные характеристики объектов, информацию об интенсивности отраженного сигнала и порядковом номере отражения, требования к точности и качеству результата [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сарычев Д. С. Мобильное лазерное сканирование. САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1. С. 36–41.
2. Алтынцев М. А. Теоретические основы и методология интеграции данных дистанционного зондирования Земли для развития наземной транспортной инфраструктуры: дис. ... д-ра. техн. наук. Новосибирск, 2025. 298 с.

3. Сальников В. Г., Горобцов С. Р. Применение дополненной реальности при визуализации готовых инженерных решений. Российский форум изыскателей: сб. докладов IV Международной научно-практической конференции (Москва, 15–16 сентября 2022 г). Москва, 2022. – С. 107–110.
4. ГОСТ Р 59120-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования. Введ 2021–05–01. М.: ФАУ "РОСДОРНИИ", 2021. – 22 с.
5. TerraScan User Guide. URL: <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (дата обращения: 01.05.2026).
6. TopoDOT Solution. URL: <https://www.topodot.com/> (дата обращения: 01.05.2026).
7. 3D СКАН. Руководство пользователя (для начинающих) к версии 2025.2. URL: https://download.credo-dialogue.ru/Documentation/TC/TC_3D_scan.pdf (дата обращения: 03.05.2026).
8. Беляков В. С., Алтынцев М. А. Автоматизация процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс, 21– 22 мая 2025 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. № 1. С. 3–5.
9. Алтынцев М. А., Геращенко Г. Д. Применение современных алгоритмов обработки данных наземного лазерного сканирования для автоматического извлечения контуров. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15– 17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. С. 22–30.

© В. С. Беляков, М. А. Алтынцев, 2026

Д. В. Бирюков¹✉

Совершенствование методики метрологической поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка»

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Аннотация. В данной статье представлены результаты применения методики для проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» в полевых условиях, также было выполнено сравнение с поверкой, выполненной на компараторе. Результаты исследования показали, что методика, представленная в статье, сопоставима по точности поверки с помощью компаратора, и она может использоваться для проведения в полевых условиях.

Ключевые слова: цифровой нивелир, штрих-кодовая рейка, метрологическая поверка, интерференционный компаратор, методика поверки

D. V. Birykov¹✉

Improvement of the methodology of metrological verification of the "digital level – barcode rail" system

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Annotation. In this article, an overview and analysis of the application of the extraordinary verification of the "digital level – barcode rail" system in the field has been performed, as well as a comparison with the verification performed on a comparator. The results of the study showed that the methods presented in the article are comparable to the accuracy of the comparator and can be used for extraordinary metrological verification.

Keywords: digital level, barcode staff, metrological verification, interferometer, calibration method

Введение

Для выполнения нивелирования всех классов и разрядов необходимо периодически проводить метрологическую поверку нивелиров и реек [1]. Согласно требованиям ГОСТ 8.513-84 [2] все средства измерений, в том числе и геодезические, должны периодически проходить метрологические поверки в следующих случаях:

- после выпуска серийно заводом-изготовителем;
- прошедших ремонт в специализированной лаборатории;
- приборов, выпущенных зарубежными фирмами.

Межповерочные интервалы рассчитываются для каждого вида геодезического прибора с условием пригодности их применения на период между повер-

ками. Применительно к основным видам геодезических приборов межповерочный интервал обычно не превышает один год.

В условиях эксплуатации геодезических приборов особое место занимает внеочередная поверка, которая проводится в основном в следующих случаях:

- после случайного механического удара по корпусу прибора или попадании влаги вовнутрь корпуса;

- при утере свидетельства о прошедшей предыдущей поверке.

Также в целом ряде случаев производится и инспекционная поверка, назначение которой заключается в выявлении пригодности к выполнению соответствующих инженерно-геодезических работ различной точности предназначенными для этого рабочими средствами измерений. Она производится ведомственными органами контроля или службами государственными надзора.

В случае возникновения спорных вопросов в отношении заявленных заводом изготовителем или специализированной фирмой метрологических характеристик рабочих средств измерений, их исправности, а также правомерности применения для выполнения данного вида работ дополнительно производится экспертная поверка.

В данной статье приводится методика и результаты применения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка».

Методы и материалы

В настоящее время для поверки цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек применяются стационарные горизонтальные и вертикальные интерференционные компараторы [3-8]. Однако, их применение в целом ряде случаев оказывается невозможным из-за их значительной удаленности от мест выполнения нивелирных работ различной точности. Например, такие компараторы имеются в г. Новосибирске в трех организациях, а нивелирные работы выполняются по всей территории Западной Сибири и Дальнего Востока. Данный фактор в значительной степени затрудняет (особенно в организационном отношении) выполнение метрологической поверки цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек.

Основными поверками цифровых нивелиров являются поверка главного условия и масштаба изображения штрих-кодовых реек.

В связи с этим в данной статье предлагается методика такой поверки масштаба изображения, которую можно использовать в полевых условиях или на территории производственной организации практически в течение всего года в удаленных местах. Ее применение также не зависит и от метеорологических условий. При этом отпадает необходимость в наличии стационарного компаратора.

Принципиальная схема такой поверки заключается в применении взамен компаратора другого эталонного средства измерений, к которым относятся высокоточные цифровые или оптические нивелиры. При ее реализации происходит сравнение превышений, измеренных эталонными высокоточными нивелирами и поверяемым цифровым нивелиром.

Схема такой поверки приведена на рис. 1.

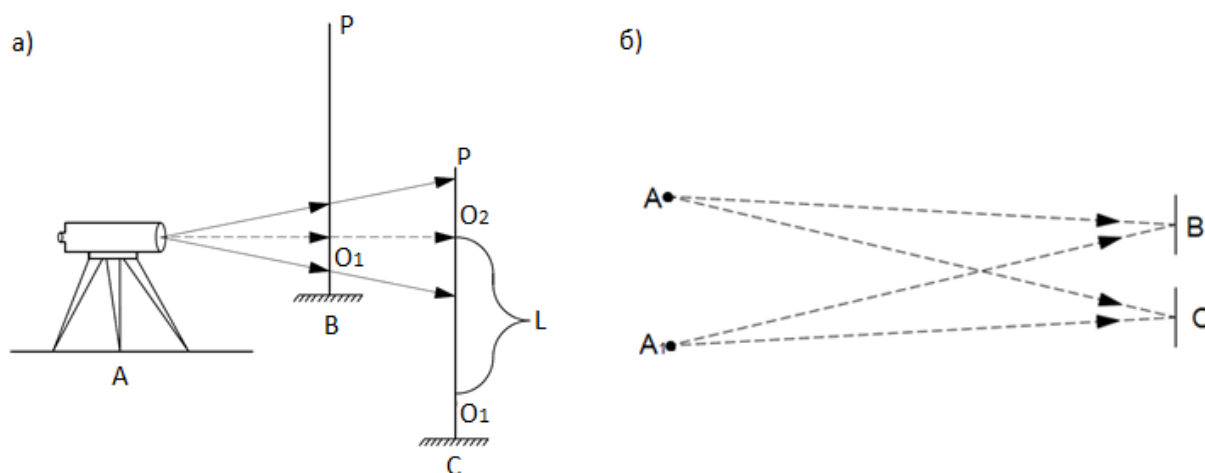


Рис.1. Схема выполнения измерений превышений

Последовательность выполнения поверки следующая. На горизонтальной площадке выбирается нивелирная станция с длиной плеч до реек 8-10 м. После этого в точке *A* (рис. 1, *a*) устанавливается эталонный (цифровой или оптический) нивелир, а в точках *B* и *C* (штрих-кодовые или штриховые инварные) рейки и производится измерение превышения, которое принимается за эталонное.

В результате этого эталонным нивелиром измеряется превышение между точками *B* и *C*. Это превышение является линейным интервалом, величина которого равна

$$h_{BC} = O_{1cp} - O_{2cp} = L, \quad (1)$$

Затем это превышение h_{BC} (линейный интервал l) измеряется поверяемым цифровым нивелиром со своим комплектом штрих-кодовых реек.

С целью повышения точности поверки измерение превышений эталонным и поверяемым нивелирами необходимо выполнить и при другом горизонте (не менее трех). За окончательное значение измеренных превышений (линейных отрезков) принимается среднее L_{cp} и l_{cp} .

Поверку можно выполнять и по другой схеме нивелирования. В этом случае используются два штатива (две станции) и сразу в точках *A* и *A₁* (рис.1, б) устанавливаются, соответственно, эталонный и поверяемый нивелиры с последующим измерением превышений (табл. 1).

Если при механическом ударе поверяемый цифровой нивелир не получил повреждения, то линейные интервалы L и l (превышения) должны будут равны между собой в пределах точности выполненных измерений этих превышений, в нашем случае в это будет в пределах 0,02-0,03 мм.

После измерения превышений (линейных отрезков L и l) производится вычисление масштаба изображения штрих-кодовой рейки по формуле

Таблица 1 – Результаты измерений превышений эталонным и поверяемым нивелирами с рейкой Trimble LD12 №31885

№ п/п	Отсчеты по низу рейки, мм		Отсчеты по верху рейки, мм	
	Эталонный нивелир	Поверяемый нивелир	Эталонный нивелир	Поверяемый нивелир
1	317,92	361,30	1635,45	1678,84
2	317,92	361,34	1635,44	1678,84
3	317,92	361,31	1635,44	1678,84
4	317,92	361,31	1635,44	1678,84
5	317,91	361,29	1635,44	1678,85
6	317,91	361,27	1635,45	1678,84
7	317,91	361,29	1635,44	1678,84
8	317,92	361,27	1635,43	1678,84
9	317,92	361,31	1635,44	1678,84
10	317,91	361,27	1635,45	1678,84
11	317,92	361,29	1635,44	1678,85
12	317,93	361,30	1635,45	1678,85
13	317,91	361,31	1635,45	1678,84
14	317,91	361,29	1635,44	1678,84
15	317,92	361,29	1635,44	1678,84
16	317,91	361,30	1635,44	1678,84
17	317,92	361,30	1635,45	1678,84
18	317,92	361,29	1635,44	1678,85
19	317,91	361,31	1635,44	1678,84
20	317,91	361,30	1635,44	1678,84
Ср.значение	317,916	361,297	1635,442	1678,842
Разность средних отсчетов (превышение) эталонного нивелира, мм				1317,526
Разность средних отсчетов (превышение) поверяемого нивелира, мм				1317,545
Средняя длина метра, мм				1,0000144
Отклонение от ср. длины метра, мм				0,0144
СКО измерений, мм				m=0,014

С целью подтверждения работоспособности предлагаемой методики определение масштаба изображения было выполнено и на стационарном компараторе СГУГиТ с использованием стандартной программы.

При выполнении контрольной поверки за эталонное значение принималась величина перемещения L_1 штрих-кодовой рейки, определяемая с помощью интерферометра, которое сравнивается с измеренной величиной. Эта измеренная величина получается, как разность отсчетов по штрих-кодовой рейке, полученных поверяемым цифровым нивелиром. Величина (шаг) перемещения обычно выбирается равной 90-110 мм. Программа измерений включала в себя взятие от-

счетов по компаратору и цифровому нивелиру в прямом и обратном направлениях.

Результаты поверки на компараторе приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты измерений с использованием компаратора

<i>Результаты измерений с рейкой Trimble LD12 №31885</i>	
Ошибка совмещения начала счета шкалы рейки с плоскостью пятки, мм	0,150
Средняя длина метра (масштаб рейки), м	1,0001301
Отклонение ср. длины метра, мм	0,1301
СКО измерений системы (нивелир-рейка), мм	0,0126
<i>Результаты измерений с рейкой Trimble LD12 №31362</i>	
Ошибка совмещения начала счета шкалы рейки с плоскостью пятки, мм	0,080
Средняя длина метра (масштаб рейки), м	1,0001117
Отклонение ср. длины метра, мм	0,1117
СКО измерений системы (нивелир-рейка), мм	0,0168
<i>Метрологические параметры для комплекта реек получились следующие.</i>	
СКО измерений системы (нивелир-рейка), мм	0,0075
Средняя длина метра комплекта реек, м	1,0001209
Отклонение ср. длины метра комплекта, мм	0,1209
СКО измерений системы (нивелир-комплект реек), мм	0,0147

Разность средних значений длин метра (масштаба изображения) между результатами поверки предлагаемой методикой и с помощью компаратора равна $1,0001209 - 1,0000384 = 0,0000825$ м или 0,0825 мм.

Таким образом, разность значений 0,0825 мм является незначительной и, следовательно, поверяемым нивелиром можно выполнять высокоточное нивелирование.

После этого для определения работоспособности поверяемой системы «цифровой нивелир–штрих-кодовая рейка» производится измерение превышения между точками *C* и *D* (рисунок 2) при расстояниях 10, 20, 35 и 50 м.

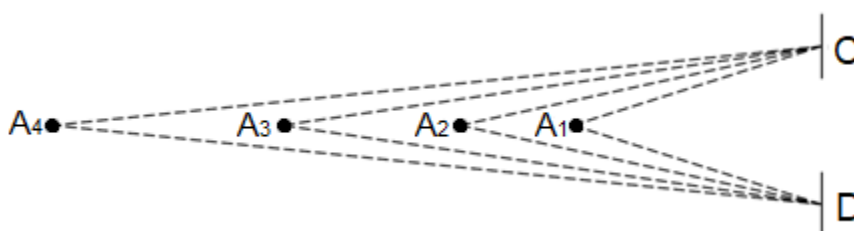


Рис. 2. Проверка работоспособности системы «цифровой нивелир–штрих-кодовая рейка» при разных расстояниях

Данная поверка производится с целью определения качества прохождения изображения штрих-кода рейки через оптическую систему нивелира. Это обусловлено тем, что во время проведения ремонта нивелира возможно загрязнение поверхностей оптических деталей, вследствие чего окажется невозможным уве-

ренное взятие отсчета по рейке при значительных расстояниях. Для этого нивелир поочередно устанавливается в точках A_1 , A_2 , A_3 и A_4 и не менее чем тремя приемами производится измерение превышений. Во время измерения превышений при расстоянии 50,0 и более метров время, необходимое на обработку штрих-кода, должно быть практически равным, как и при коротких расстояниях. При этом также не должно быть сбоев (ошибок) в измерениях.

Обсуждение

Таким образом, из результатов метрологической поверки с помощью эталонного цифрового нивелира средняя длина комплекта реек оказалась равной 1,0000384 м (табл. 1), а с помощью интерферометра СГУГиТ 1,0001209 м (табл. 2). Разность средних значений длин метра между результатами поверки оказалась равной 0,0000825 м или 0,0825 мм. Следовательно, применение в качестве эталонного средства измерений высокоточного цифрового нивелира позволяет с необходимой достоверностью определить работоспособность поверяемого нивелира в полевых условиях.

Исследованиями установлено, что с целью повышения точности определения средней длины метра (масштаба изображения) длину визирного луча необходимо делать не более 5,0-6,0 м. В этом случае СКО определения средней длины комплекта реек порядка не будет превосходить величину порядка $m=0,015-0,025$ мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бронштейн, Г. С. К вопросу стандартизации и метрологического обеспечения в геодезии [Текст] / Г. С. Бронштейн // Геодезия и картография. – 1987. – № 12. – С. 32 – 34.
2. ГОСТ 8.513–84. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам. 1984. – 11 с. – Текст : непосредственный.
3. Куликов А.В., Середович В.А. Опыт создания лазерного интерферационного компаратора СГГА // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2014. Т. 5. № 2. С. 88-93.
4. Методика технологической поверки масштаба изображения по разностям превышений, измеренных эталонным и поверяемым цифровыми нивелирами / Г.А. Уставич, И.А. Мезенцев, Д.В. Бирюков, Д.А. Баранников– Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ, Том 27, №2, 2022. С.59-71
5. Совершенствование технологической схемы поверки цифрового нивелира после его ремонта / Г.А. Уставич, Х.К. Ямбаев, Д.В. Бирюков, М.А. Минаева, Е.В. Ситникова, А.И. Каленицкий – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ, Том 28, №3, 2023. С.47-56
6. Спиридонов, А. И. Основы геодезической метрологии. – Москва : Картгеоцентр – Геодезиздат, 2003. – 247 с. – Текст : непосредственный.
7. Староверов, С.В. Разработка компактных средств геодезической метрологии для оперативной поверки и исследований нивелиров и тахеометров. Дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. М: МИИГАиК, 2018, 108 стр.
8. Уставич, Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2010. – № 2. – С. 3–8.

© Д. В. Бирюков, 2026

Л. Е. Сердаков^{1✉}, Н. А. Борщ², К. В. Паульзин²

Геодетическое сопровождение установки в проектное положение гирдерных модулей накопителя СКИФ

¹ Институт ядерной физики имени Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: LeoSerd@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрено геодетическое сопровождение установки гирдерных модулей накопителя ЦКП «СКИФ». Основной измерительный прибор – лазерный трекер Leica AT403 (погрешность $\pm 15 \text{ мкм} + 6 \text{ мкм/м}$). Внутренняя геодетическая сеть тоннеля имеет СКП положения знаков не более 0,050 мм. Выявлены значительные деформации тоннеля (локальные смещения до 1 мм за 5 месяцев), что требует регулярного мониторинга. Допуск на поперечную установку гирдера – $\pm 0,10 \text{ мм}$, для критических элементов – $\pm 0,03 \text{ мм}$. Предварительная выставка модулей показала отклонения, устраняемые финальной юстировкой от актуального цикла измерений сети (не старше 1 месяца). Все 112 гирдеров собраны, вакуумная камера замкнута. Подтверждена возможность достижения субмиллиметровой точности.

L. E. Serdakov^{1✉}, N. A. Borshch², K. V. Paulzin²

Geodetic surveying support for the installation of the SKIF storage ring girder modules into their design position.

¹ G.I.Budker Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: LeoSerd@yandex.ru

Abstract. The paper addresses geodetic support for the installation of girder modules of the SKIF storage ring. The primary instrument is the Leica AT403 laser tracker (accuracy $\pm 15 \text{ }\mu\text{m} + 6 \text{ }\mu\text{m/m}$). The internal geodetic network provides a root-mean-square error of reference marks not exceeding 0.050 mm per epoch. Significant tunnel deformations (local displacements up to 1 mm over five months) were identified, requiring regular monitoring until settlement decays. The tolerance for transverse girder positioning is $\pm 0.10 \text{ mm}$, and for critical beamline elements — $\pm 0.03 \text{ mm}$. Preliminary alignment of modules revealed deviations that are corrected during final alignment based on a network epoch not older than one month. All 112 girders have been assembled and the vacuum chamber is closed. Sub-millimeter positioning accuracy is achievable with the proposed methodology.

Введение

Центр коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов» Института катализа СО РАН – источник синхротронного излучения поколения «4+» проект класса «мегасайнс».

ЦКП «СКИФ» представляет собой комплекс из 27 зданий, а также инженерного и технологического оборудования, обеспечивающий выполнение научных исследований на пучках синхротронного излучения, схема основных частей источника синхротронного излучения представлена на рис. 1.

Уникальные характеристики нового синхротронного источника позволят проводить передовые исследования с яркими и интенсивными пучками рентгеновского излучения во множестве областей – химии, физике, материаловедении, биологии, геологии, гуманитарных науках, а также решить актуальные задачи инновационных и промышленных предприятий.



1 – инжектор и транспортный канал Бустер-Накопитель; 2 – здание Накопителя; 3 – зал пользовательских станций; 4,5 – станции 1-3 и 1-5, вынесенные отдельными зданиями.

Рис. 1. Основные составные части источника синхротронного излучения СКИФ

Требования на установку в проектное положение элементов, формирующих траекторию пучка частиц современных источников СИ, таких как «СКИФ», требуют субмиллиметровой точности позиционирования оборудования. Искажения камеры (в которой будет пролетать пучок), вызванные ошибками установки в проектное положение, могут привести к энергетическим потерям и снижению эффективности параметров всего комплекса. [1, 2]

Методы и материалы

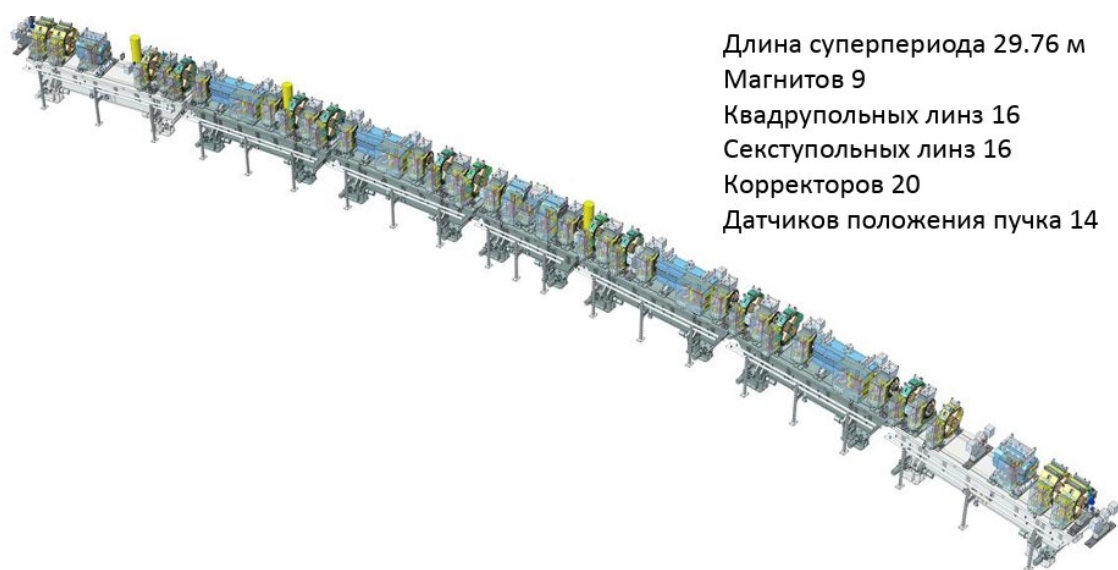
Основным прибором, используемым для контроля монтажа физического оборудования ЦКП СКИФ, является лазерный трекер Leica AT403. Технические характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики Leica AT403

Трёхкоординатная погрешность измерений (максимально допустимая ошибка, МРЕ)	
Статический режим	$\pm 15 \text{ мкм} + 6 \text{ мкм/м}$
Динамический режим	$\pm 30 \text{ мкм} + 12 \text{ мкм/м}$
Горизонтирование прибора	$\pm 1 \text{ уг. сек}$
Максимальная дальность измерений	160 м

Измерения производятся в «контактном» режиме, то есть пространственные координаты объекта получают через установку на него специального сферического отражателя. Учитывая оффсет отражателя, посредством программного обеспечения получают координаты поверхности объекта. Центровка призмы внутри тела отражателя составляет порядка 0,008 мм (отдельные отражатели имеют центровку точнее).

Кольцо накопителя состоит из 16 суперпериодов. Каждый суперпериод включает в себя 7 гирдерных модулей (всего 112 гирдеров), на каждом из которых расположено от 5 до 7 электромагнитов, допуск на установку в проектное положение самых критичных элементов составляет $\pm 0,03 \text{ мм}$. Суперпериод накопителя СКИФ показан на рис. 2.

**Рис. 2.** Суперпериод накопителя СКИФ

Сборка гирдерных модулей производилась в корпусе стендов и испытаний, в котором созданы все условия для высокоточного позиционирования электромагнитов (термостабилизация, отсутствие случайных и систематических потоков воздуха, исключено попадание прямых солнечных лучей). В качестве координатной основы для установки в проектное положение служат геознаки, закрепленные непосредственно на гирдере.

После завершения этапа сборки гирдерные модули доставляются в кольцо накопителя на специальной машине, позволяющей установить гирдерную сборку в стесненных условиях тоннеля.

Для соблюдения требований к точности в накопителе имеется внутренняя геодезическая сеть, служащая основой непосредственно для высокоточного монтажа и юстировки физического оборудования (рис. 3). Геознаки закреплены с плотностью порядка 1 геознака на 1,25 метра. Среднеквадратическая погрешность положения геознака сети накопителя в цикле измерений не более 0,050 мм, что позволяет производить ориентирование прибора в любом месте тоннеля с обозначенной точностью. Однако деформации конструкций тоннеля сильно влияют на взаимное положение знаков сети, так как строительство здания закончилось только зимой 2025 года. Например, за 5 месяцев после проведения цикла наблюдений сети, локальные деформации тоннеля в области 8 суперпериода составили 1 мм. Это является критическим для эксплуатации ускорительного комплекса и будет требовать повышенного внимания с точки зрения геодезического мониторинга до момента затухания осадок [3].

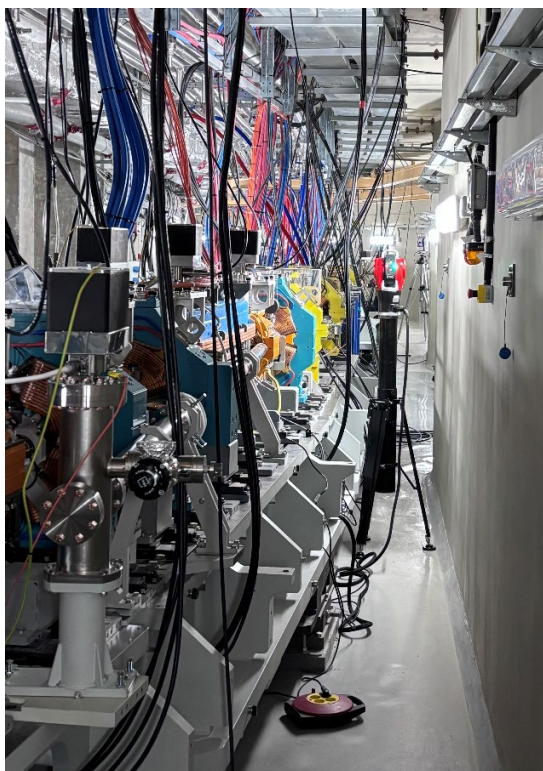


Рис. 3. Лазерные трекеры в тоннеле накопителя

Перечень работ, лежащих в зоне ответственности геодезической службы при монтаже оборудования накопителя СКИФ:

- трассировка пучка и вынос точек крепления опор гирдерных модулей и отдельно стоящих подставок элементов ускорителя на полу тоннеля;
- горизонтирование опор;

- предварительная установка в проектное положение с целью стыковки вакуумной системы ускорителя;
- установка выводов синхротронного излучения и фронтендов на проектные оси;
- контроль положения вставных устройств на прямолинейных промежутках арки ускорителя;
- финальная установка в проектное положение от актуального цикла геодезической сети (не менее 1 месяца с момента измерений) гирдерных модулей и прямолинейных промежутков с вставными устройствами.

Допуск на установку в проектное положение гирдерных модулей составляет $\pm 0,10$ мм в поперечных направлениях движения пучка. Изображение одного из типов гирдера представлено на рис. 4.

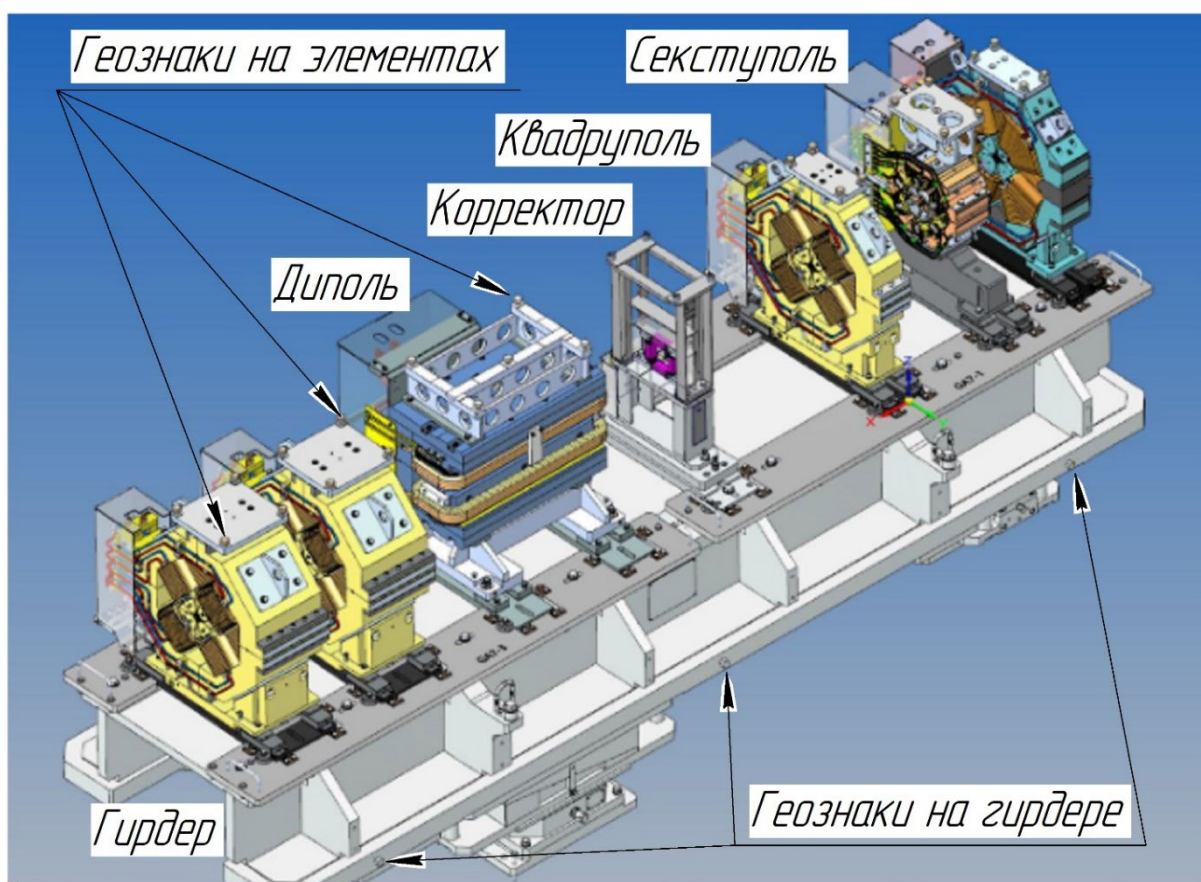


Рис. 4. Гирдер длиной 3800 мм с установленными элементами.

Конструктивно, гирдер включает в свой состав кроме основной несущей балки, на которой устанавливаются элементы ускорителя, три опоры. Каждая опора имеет планово-высотные юстировки [4-6]. Высотное перемещение гирдера производится по клиньям, с углом в 7° , обеспечивающим плавное перемещение в диапазоне ± 15 мм. Юстировка в горизонтальной плоскости обеспечивается за счет смещения полусферы, на которую опирается часть опоры с клинь-

ями, относительно закрепленной к полу тоннеля её нижней части, рис. 5. Диапазон перемещения в плане также ± 15 мм.

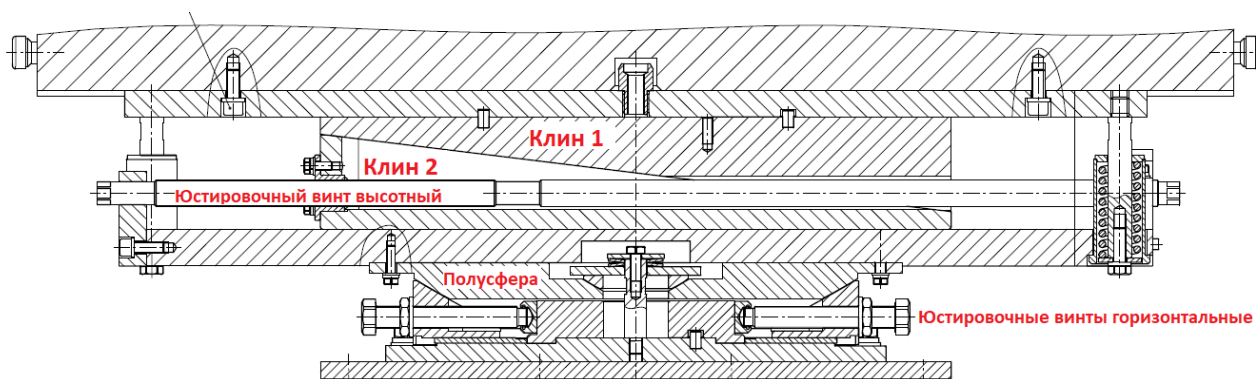


Рис. 5. Юстировочные узлы опоры гирдерного модуля накопителя

Заключение

В результате выполнения геодезических работ по сопровождению установки гирдерных модулей накопителя ЦКП «СКИФ» подтверждена возможность достижения субмиллиметровой точности позиционирования элементов ускорительного комплекса с использованием лазерных трекеров Leica AT403 и API Radian. Установка в проектное положение гирдерных модулей с допусками, обозначенными проектом ускорительного комплекса, возможно при наличии опорной геодезической сети с СКП взаимного положения геодезических знаков не хуже 0,05 мм. Обозначены основные этапы геодезического контроля: от трассировки осей и горизонтирования опор до предварительной и финальной юстировки модулей. Выявлено существенное влияние деформаций тоннеля (локальные смещения до 1 мм за 5 месяцев) на стабильность геодезической основы, что требует регулярного мониторинга до затухания осадок. Предварительная установка гирдерных модулей показала отклонения, требующие финальной юстировки в соответствии с допуском $\pm 0,03$ мм для наиболее критичных элементов. На данный момент времени все суперпериоды собраны, вакуумная камера замкнута, для дальнейшей финальной выставки производится съемка опорной сети накопителя. Завершение полного объема запланированных работ и соблюдение заданных допусков обеспечат успешный запуск источника синхротронного излучения и его эффективную эксплуатацию.

Результат предварительной выставки одного из гирдерных модулей представлен на рис. 6.

Group to Group Relationship Groups: USMN MA2.GA4 Final to MA2.GA4 CHECK Reported in A: MA2.BDC2-SE2											
Name	USMN MA2.GA4 Final			MA2.GA4 CHECK					Delta		
	X1 (mm)	Y1 (mm)	Z1 (mm)	X2 (mm)	Y2 (mm)	Z2 (mm)	dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)	Mag (mm)	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE1.qz1	-1399.462	-169.807	369.382	-1399.384	-169.817	369.438	0.078	-0.009	0.057	0.097	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE1.qz2	-1608.757	-186.288	368.963	-1608.649	-186.280	369.011	0.108	0.009	0.048	0.119	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE1.qz3	-1626.894	42.915	368.613	-1626.791	42.892	368.671	0.103	-0.022	0.058	0.121	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE1.qz4	-1417.590	59.379	368.764	-1417.502	59.355	368.814	0.088	-0.025	0.050	0.105	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC1.qz1	-1221.441	-173.214	363.877	-1221.376	-173.235	363.931	0.065	-0.021	0.054	0.087	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC1.qz2	-1236.563	66.453	364.226	-1236.482	66.414	364.275	0.082	-0.039	0.049	0.103	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC1.qz3	-1054.051	-32.417	364.040	-1053.984	-32.455	364.088	0.067	-0.038	0.049	0.091	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC1.qz4	-885.297	88.490	364.198	-885.241	88.429	364.247	0.056	-0.062	0.049	0.097	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC1.qz5	-870.167	-151.080	363.977	-870.125	-151.119	364.026	0.042	-0.039	0.049	0.075	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BPC1.qz1	-749.659	-154.520	367.972	-749.630	-154.570	368.006	0.029	-0.050	0.035	0.068	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BPC1.qz4	-529.826	-145.611	367.946	-529.815	-145.669	367.990	0.011	-0.057	0.043	0.073	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC2.qz1	-409.167	-134.032	363.915	-409.180	-134.109	363.969	-0.014	-0.076	0.054	0.095	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC2.qz2	-411.785	106.070	364.004	-411.765	105.995	364.035	0.020	-0.075	0.031	0.084	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC2.qz3	-234.594	-1.998	363.851	-234.598	-2.078	363.890	-0.004	-0.080	0.039	0.089	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC2.qz4	-59.888	110.101	364.006	-59.902	110.007	364.040	-0.014	-0.094	0.034	0.101	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.BDC2.qz5	-57.039	-129.939	363.913	-57.058	-130.010	363.950	-0.019	-0.070	0.036	0.081	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE2.qz1	329.911	-115.039	368.704	329.764	-115.078	368.749	-0.146	-0.039	0.046	0.158	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE2.qz2	119.976	-115.021	368.673	119.852	-115.039	368.692	-0.124	-0.019	0.020	0.127	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE2.qz3	120.071	114.972	368.660	119.960	114.933	368.639	-0.111	-0.039	-0.021	0.120	
project:USMN MA2.GA4 Final:MA2.SDE2.qz4	330.026	114.871	368.707	329.900	114.805	368.729	-0.125	-0.066	0.022	0.143	

Рис. 5. Отклонения от проектного положения четвертого гирдерного модуля на втором суперпериоде

Благодарности

Выражаем благодарность ИЯФ СО РАН за предоставленное оборудование и предоставленную возможность провести данное исследование на базе сибирского кольцевого источника фотонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буренков, Д. Б., Мурзинцев, П. П., Полянский, А. В., Пупков, Ю. А., Сердаков, Л. Е. Геодезический мониторинг вертикальных деформаций тоннелей ускорительных комплексов ИЯФ СО РАН // Научный журнал. – 2019. – № 6. – С. 4-9.
2. Буренков, Д. Б., Мурзинцев, П. П., Полянский, А. В., Пупков, Ю. А., Сердаков, Л. Е. О геодезическом сопровождении Booster NSLS-II Брукхейвенской национальной лаборатории Министерства энергетики США // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 126-131.
3. Марфенко, С. В. Высокоточные геодезические работы при строительстве и эксплуатации прецизионных сооружений: учеб. пособие. – М.: МИИГАиК, 2004. – 36 с.
4. Мурзинцев, П. П., Буренков, Д. Б., Полянский, А. В., Сердаков, Л. Е. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга ускорительно-накопительных комплексов: монография / под общ. ред. П. П. Мурзинцева. – Новосибирск: Сибпринт, 2021. – 231 с.
5. Полянский, А. В. Разработка методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации ускорительно-накопительного комплекса на основе гармонического анализа: дис. канд. техн. наук: 25.00.32 / Полянский Андрей Викторович. – Новосибирск, 2015. – 118 с.
6. Сердаков, Л. Е. Разработка методики геодезического обеспечения для монтажа технологического оборудования источников синхротронного излучения: дис. канд. техн. наук: 25.00.32 / Сердаков Леонид Евгеньевич. – Новосибирск, 2020. – 117 с.

© Л. Е. Сердаков, Н. А. Борщ, К. В. Паульзин, 2026

А. С. Горилько¹✉, Н. М. Рябова¹, К. С. Мандаева¹

Методика деформационного мониторинга особо опасного и технически сложного инженерного сооружения

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: cahek28@mail.ru

Аннотация. В статье предложена и описана методика деформационного мониторинга особо опасного и технически сложного инженерного сооружения. За последние 5-10 лет геодезическое приборостроение существенно шагнуло вперед, усовершенствовав характеристики точности тахеометров. При соблюдении ряда условий, практически исключающих ошибки, обусловленные внешней средой и выполнением избыточных измерений, представляется возможным определять величины горизонтальных и вертикальных перемещений при циклических измерениях с СКО в пределах 1,5 – 2,0 мм и 0,25 – 0,50 мм соответственно. При этом исходная локальная геодезическая сеть должна состоять из нескольких пунктов с принудительным центрированием, которые также могут служить пунктами сгущения для геодезической сети техногенного геодинамического полигона промышленной площадки АЭС. Создаваемая локальная геодезическая сеть может быть в последующем развита дополнительными пунктами, размещенными на уровне земной поверхности в целях обеспечения прямой оптической видимости с наблюдаемыми марками на инженерном сооружении.

Ключевые слова: техногенный геодинамический полигон, тахеометр, горизонтальные и вертикальные перемещения, высокоточное тригонометрическое нивелирование

A. S. Gorilko¹✉, N. M. Ryabova¹, K. S. Mandeeva¹

The method of deformation monitoring of a particularly dangerous and technically complex engineering structure

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: cahek28@mail.ru

Annotation. This article provides an overview of the proposed method of deformation monitoring of a particularly dangerous and technically complex engineering structure. Over the past 5-10 years, geodetic instrumentation has made significant strides forward, improving the accuracy characteristics of total stations. If a number of conditions are met that practically exclude errors caused by the external environment and excessive measurements, it is possible to determine the values of horizontal and vertical displacements during cyclic measurements with a COE in the range of 1.5 – 2.0 mm and 0.25–0.50, respectively. At the same time, the initial local geodetic network should consist of several points with forced centering, which can also serve as condensation points for the geodetic network of the technogenic geodynamic landfill of the NPP industrial site. The created local geodetic network can be further developed by additional points located at the level of the earth's surface in order to ensure direct optical visibility with the observed marks on the engineering structure.

Keywords: man-made geodynamic polygon, total station, horizontal and vertical movements, high-precision trigonometric leveling

Введение

Выработка электрической энергии является одной из ключевых задач для современного общества. Без должной подачи электроэнергии невозможна корректное функционирование экономики, повседневной жизни граждан и ключевых социально значимых систем (больниц, санаторий, детских садов, школ и т. д.) [1].

В частности, для достижения целей, направленных на выработку необходимого количества электроэнергии на разных объектах энергосистем (например, АЭС, ГЭС или ТЭС), размещаются и эксплуатируются особо опасные и технически сложные инженерные сооружения [2]. К таким инженерным сооружениям относятся:

- объекты использования атомной энергии (ядерные установки, сооружения для хранения ядерных и высокорadioактивных материалов, специальные пункты для хранения отработанного ядерного топлива);
- тепловые электростанции мощностью 150 мегаватт и выше;
- гидротехнические сооружения первого и второго классов опасности (шлюзы, плотины и другие достаточно крупные гидросооружения);
- другие инженерные сооружения, имеющие отношение к производственному процессу по выработке электрической энергии [1, 3–4].

Особое внимание уделяется обеспечению безопасности при эксплуатации вышеуказанных инженерных сооружений. Одним из ключевых мер обеспечения безопасности в таких случаях является контроль деформационного состояния в плане и по высоте, посредством высокоточных инженерно-геодезических измерений [4].

Деформационные процессы у особо опасных и технических сложных инженерных сооружений нередко возникают из-за следующих факторов:

- природные факторы (склоновые процессы, сплывы, оползание грунта, пучение, влияние солнечной радиации и т.д.) [5,6];
- техногенные и антропогенные факторы (недостаточный учет свойств грунтов, не верная оценка геологических условий, вибрация фундаментов из-за работы строительных машин, изменение давления на грунтовое основание при возведении рядом новых инженерных сооружений и т.д.).

Деформации могут возникать как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Контроль за деформационным состоянием всех видов особо опасных и технически сложных инженерных сооружений является актуальной научной задачей.

В данной статье рассматривается методика деформационного мониторинга одного из вышеупомянутых видов инженерных сооружений – пунктов сбора и хранения высокорadioактивного ядерного топлива. Предлагаемая методика основана на применении высокоточного роботизированного тахеометра с усовершенствованным дальномерным блоком с паспортной характеристикой $m_s = 0,5 - 1,0$ мм (например, роботизированные тахеометры Sokkia NET05AXII и некоторые модели марки Leica) [7].

На рис.1 видно, что схема с пунктами $A, B, C, \dots F$ представляет собой замкнутую линейно-угловую сеть. При этом пункты $A', B', C', \dots, F'$ должны быть заложены не менее чем в пределах 20-25 метров от стены наблюдаемого инженерного сооружения. Такое минимальное расстояние регламентировано для обеспечения радиационной безопасности исполнителей геодезических работ. Поскольку с точки зрения безопасности находиться в непосредственной близости к наблюдаемому сооружению запрещено, то еще до ввода в эксплуатацию на стенах данного сооружения по периметру закладываются марки в двух уровнях:

- на высоте 0,4 – 0,6 м относительно земной поверхности промышленной площадки;

- на уровне верха стены (ригеля перекрытия).

Данные марки заглублены в стены на 2–3 мм с целью их сохранности. Назначение данных марок заключается в необходимости полного отсутствия речника в непосредственной близости к стене наблюдаемого сооружения (пункта сбора и хранения высокорadioактивных ядерных отходов).

При определении величин горизонтальных перемещений в каждом цикле измерений высокоточный тахеометр устанавливается на пункт A , ориентируется на пункт F и B (рис. 1), и выполняются измерения на марки 1 и 1', также на 2 и 2', 3 и 3' и 4 и 4'. Схема измерений в вертикальной плоскости приведена на рис.2.

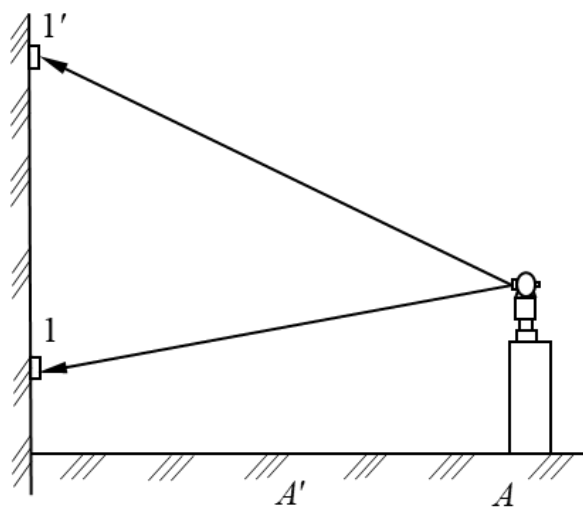
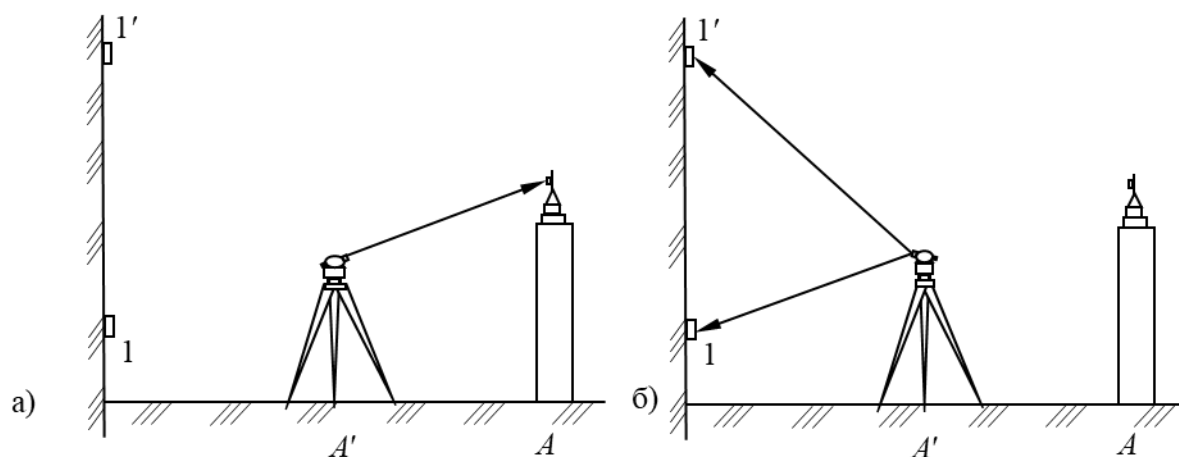


Рис.2. Схема измерений в вертикальной плоскости с пункта A

При следующем шаге выполнения деформационного мониторинга выполняются измерения на те же марки при качественной установке в рабочее положение тахеометра над пунктом A' и ориентировании на пункт A (рис.3а) и последующем измерении на марки (рис.3б).



a – ориентирование на пункт *A*, *б* – измерения на марки 1 и 1'

Рис 3. Схема измерений в вертикальной плоскости с пункта *A'*

В случае, если до марок расстояние будет не более 30 м, то СКО определения их плановых координат составит в пределах 1,5 – 2,0 мм, при условии, что измерения выполнены в пасмурное время с целью исключения турбулентности воздуха, возникающего вблизи стен исследуемого сооружения.

Аналогично выполняются измерения с пунктов *B*, *C*, *F* на последующие марки.

Поскольку тахеометр регистрирует отсчеты не только по горизонтальному кругу, но и по вертикальному, а также наклонное расстояние, то представляется возможным контролировать и вертикальные перемещения при использовании метода высокоточного тригонометрического нивелирования короткими визирными лучами. При расстоянии от тахеометра до светоотражательных пленок (марок) не более 30 – 50 м, СКО измерения расстояния и угла наклона не более, соответственно, 2,0–3,0 мм и 1,0–2,0", СКО измерения превышения на станции не будет превосходить 0,25–0,50 мм. При использовании более усовершенствованных моделей роботизированных тахеометров, точность измерений может быть несколько выше.

При выполнении измерений методом тригонометрического нивелирования в каждом цикле, тахеометр устанавливается на пункт *A*, и двумя полными приемами поочередно определяются превышения между марками 1, 2, 3 и 4. После этого тахеометр устанавливается на пункт *A'*, и также определяются превышения между пунктами 1, 2, 3 и 4. Затем аналогичным образом измеряются превышения и с других пунктов. Обратим внимание, что каждая марка как минимум определяется трижды с разных пунктов, что повышает точность высотных определений.

Заключение

Применение роботизированных тахеометров последнего поколения позволяет оптимизировать (усовершенствовать) методики деформационного монито-

ринга инженерных сооружений на промышленных площадках или даже разработать новые практичные подходы для выявления деформационных процессов по данным циклических измерений.

Тригонометрическое нивелирование в связи с усовершенствованием тахеометров также совершенствуется и может относиться к классу высокоточных измерений для высотных определений.

Как и для других видов измерений, тригонометрическое нивелирование следует выполнять в пасмурную погоду и хорошей видимости. В солнечные дни следует полностью исключить измерения, особенно в жаркую погоду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт <https://www.atomic-energy.ru>. Текст : электронный // Научно-деловой портал «Атомная энергия 2.0. – <https://www.atomic-energy.ru> (дата обращения 07.04.2026).
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации: федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ (в ред. 26.12.2024) (с изм. и доп. вступ. в силу с 01.01.2025). – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.
3. СТО 9512023-2017 Инженерные изыскания при строительстве атомных электростанций. – Москва : «Росатом». – 40 с. – Текст : непосредственный.
4. СТО СРО-Г6054295400007–2023 Геодезический мониторинг деформаций зданий и сооружений атомных электростанций. – Москва : Союзатомгео, 2023. – 131 с. – Текст : непосредственный.
5. Исследование стабильности положения пунктов обоснования при их закреплении на разных горизонтах инженерных сооружений / А. С. Горилько, А. М. Астапов, Н. М. Рябова, Т. Д. Денисович. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15–17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 37– 43. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-37-43.
6. Инженерно-геодезические работы при строительстве и эксплуатации тепловых электростанций. В 2 ч. : монография / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, М. Е. Рахымбердина, К. Б. Хасенов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – Текст : непосредственный.
7. Официальный сайт <https://leica-geosystems.com/ru/products/total-stations> Текст: электронный // Научно-деловой портал «Электронные тахеометры. – <https://leica-geosystems.com/ru/products/total-stations> (дата обращения 05.04.2026).

© А. С. Горилько, Н. М. Рябова, К. С. Мандаева, 2026

А. А. Гребенников^{1✉}, И. Т. Андреев¹

Исследование точности определения объема штабеля сыпучих материалов способом мобильного лазерного SLAM сканирования

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

Аннотация. В статье представлены результаты исследования точности определения объема штабеля сыпучих материалов с применением технологии мобильного лазерного SLAM сканирования. В ходе полевых работ выполнена серия измерений штабеля дробленой рудной массы фракции 100 +40 с использованием мобильного лазерного сканера Goslam RS300. В исследовании выполнялось моделирование трехмерных цифровых моделей штабеля на основе облаков точек, их последующий анализ и сравнение рассчитанных объемов. Было выявлено, что при использовании способа мобильного лазерного SLAM сканирования расхождение между рассчитанными объемами не превышает 0.5 % от объема штабеля. При этом существенно сокращается время на определение объема по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова: штабель сыпучих материалов, определение объема, мобильное лазерное SLAM сканирование, трехмерная цифровая модель, облако точек, Goslam LidarWorks, анализ результатов

A. A. Grebennikov^{1✉}, I. T. Andreev¹

Research on the accuracy of determining the volume of a pile of loose materials using mobile laser SLAM scanning

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

Abstract. The article presents the results of a study on the accuracy of determining the volume of a bulk material stockpile using mobile laser scanning technology. During fieldwork, a series of three measurements of a crushed ore mass stockpile with a fraction of 100 +40 was performed using the Goslam RS300 mobile laser scanner. The study involved modeling three-dimensional digital models of the stockpile based on point clouds, their subsequent analysis, and comparison of the calculated volumes. It was found that when using the mobile laser scanning method, the discrepancy between the calculated volumes does not exceed 0.5% of the stockpile volume, while significantly reducing the time required to determine the volume compared to traditional methods.

Keywords: bulk material stack, volume determination, mobile laser scanning, three-dimensional digital model, point cloud, Goslam LidarWorks, result analysis

Введение

Определение объема штабелей сыпучих материалов с необходимой точностью является важной задачей для горнодобывающей, строительной, металлургической и сельскохозяйственной отраслей. Ошибки в оценке запасов напрямую могут повлиять на финансовые показатели и логистику предприятия в целом. В

последнее время большое распространение получили наземные и мобильные лазерные сканирующие системы, позволяющие получать плотное облако точек на этапе полевых работ [1]. После выполнения измерений, последующей камеральной обработки плотного облака точек и моделирования получается трехмерная цифровая модель объекта. Особое внимание получают мобильные лазерные сканеры с технологией SLAM, позволяющие определять свое местоположение и отстраивать плотное облако точек окружающей среды в реальном времени [2–4].

Целью исследования является анализ точности определения геометрического объема штабеля сыпучих материалов способом мобильного лазерного SLAM сканирования. Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Выполнить мобильное лазерное SLAM сканирование одного и того же штабеля сыпучих материалов серией измерений с одинаковым временным интервалом.
2. Выполнить камеральную обработку облаков точек и моделирование трехмерных цифровых моделей штабеля в программном комплексе (ПК) Goslam LidarWorks.
3. Определить объем штабеля по смоделированным трехмерным цифровым моделям в ПК Datamine Studio RM.
4. Выполнить сравнение и анализ полученных данных.

Методы и материалы

Мобильное лазерное SLAM сканирование и определение объема штабеля сыпучих материалов выполняется по технологической схеме, представленной на рис. 1.

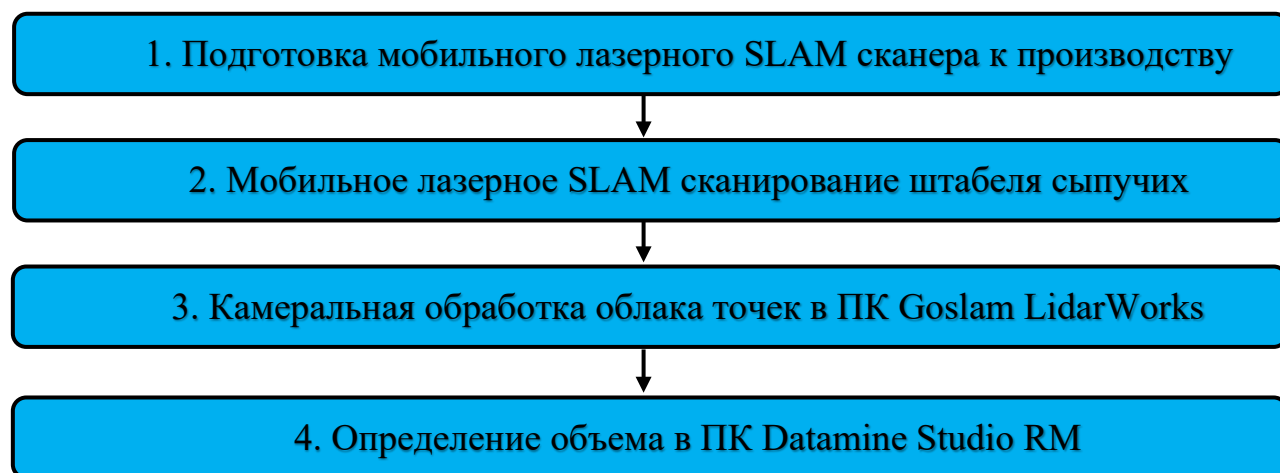


Рис. 1. Технологическая схема производства мобильного лазерного SLAM сканирования и определения объема штабеля сыпучих материалов

При выполнении мобильного лазерного SLAM сканирования необходимо обойти штабель вокруг, далее подняться на штабель и пройти по верхней бровке [5, 6]. Если штабель имеет большой размер, то необходимо добавить в траекто-

рию движения линию по середине штабеля, чтобы захватить всю область и исключить появление пустот (незасканированных областей) в облаке точек.

На рис. 2 представлен типовой маршрут выполнения мобильного лазерного SLAM сканирования для штабеля сыпучих материалов.



Рис. 2. Типовой маршрут выполнения мобильного лазерного SLAM сканирования для штабеля сыпучих материалов

После мобильного лазерного SLAM сканирования выполняется экспорт облака точек и файла привязки из накопителя данных.

Далее рассмотрим методику камеральной обработки облака точек с использованием программного комплекса Goslam LidarWorks, которая выполняется в следующей последовательности.

1. Импорт облака точек и файла привязки в программный комплекс.
2. Сегментация необходимой области облака точек, где находится штабель сыпучих материалов.
3. Фильтрация и удаление «шумов» с облака точек в автоматическом режиме.
4. Преобразование координат и высот облака точек в местную систему координат и высот [7].
5. Вычисление и ориентирование нормалей по облаку точек.
6. Моделирование трехмерной цифровой модели по алгоритму реконструкции поверхности Пуассона с выбором глубины октодерева.
7. Экспорт трехмерной цифровой модели в формате «.dxf» для определения объема.

Результаты

В ходе исследования было выполнено мобильное лазерное SLAM сканирование в количестве трех раз с интервалом два часа. В качестве объекта съемки был выбран штабель дробленой рудной массы фракции 100 +40. Мобильное лазерное SLAM сканирование штабеля выполнялось лазерным сканером Goslam

RS300 в режиме «на рюкзаке», с применением спутникового приемника «SinoGNSS T30». Производитель заявляет точность измерений (определения координат) данным сканером не хуже 10 мм. В качестве базовой станции был использован спутниковый приемник «EFT S2». Расстояние от базовой станции до штабеля, где выполнялось мобильное лазерное SLAM сканирование, равняется 300 м. Съемка основания под штабелем рудной массы была произведена в день отсыпки и формирования штабеля способом ГНСС-технологий в кинематическом режиме с шагом съемки от 3 до 5 м с использованием спутникового приемника «EFT M4 GNSS».

На рис. 3 представлена трехмерная цифровая модель штабеля, смоделированная в ПК Goslam LidarWorks по алгоритму реконструкции поверхности Пуассона с глубиной октодеревя, равной 9.

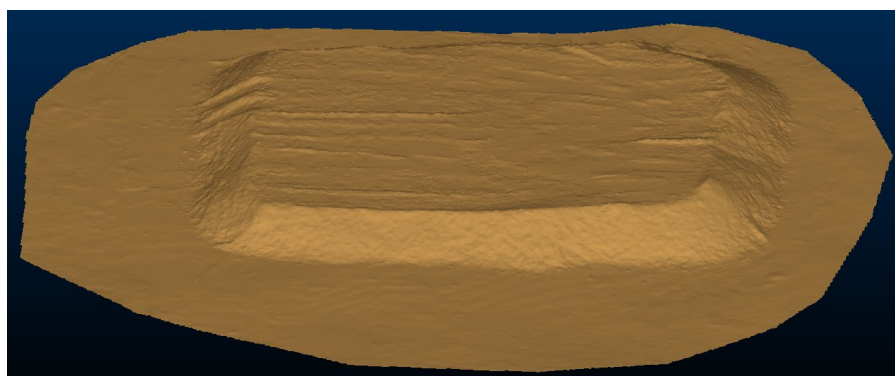


Рис. 3. Трехмерная цифровая модель штабеля

После импорта трехмерной цифровой модели в ПК Datamine Studio RM (рис. 3) была выполнена отрисовка 3D-полилинией границы штабеля по нижней бровке и «обрезка» по этой границе.

На рис. 4, *а* представлен фрагмент цифровой модели штабеля до «обрезки» и после «обрезки» (рис. 4, *б*).

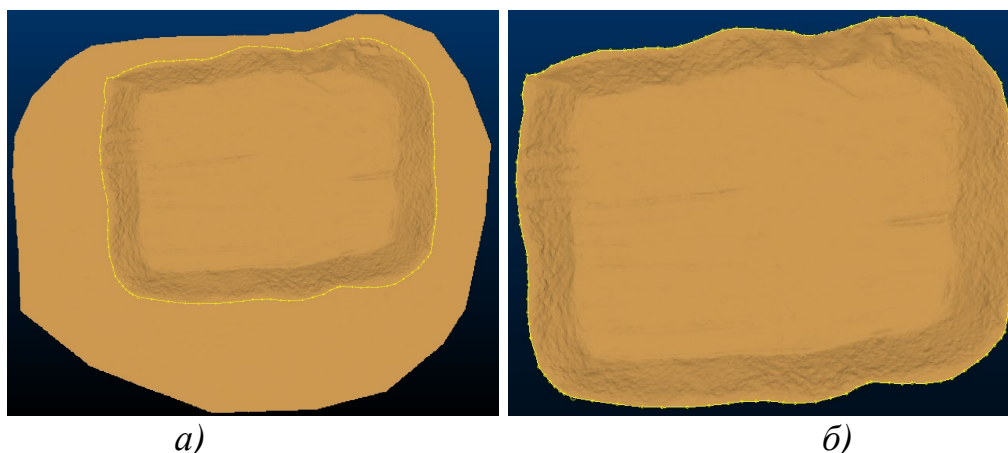


Рис. 4. Трехмерная цифровая модель штабеля (вид сверху):
а) до «обрезки»; *б)* после «обрезки»

На рис. 5 представлены три трехмерные цифровые модели штабеля, смоделированные по соответствующим лазерному сканированию облакам точек

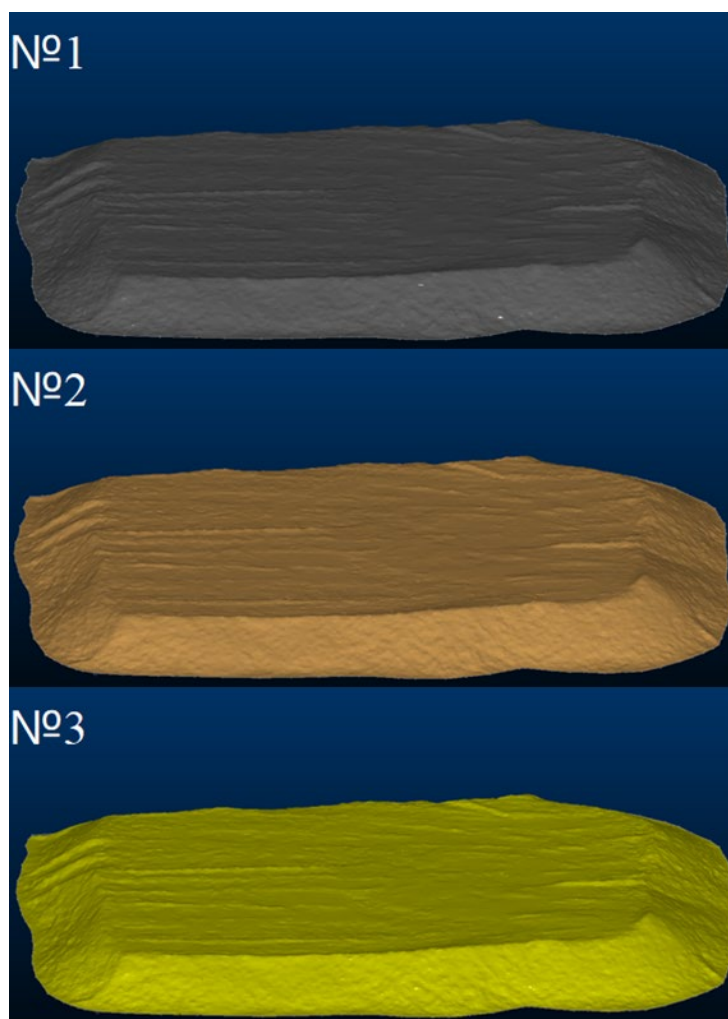


Рис. 5. Трехмерные цифровые модели штабеля, смоделированные по соответствующим лазерному сканированию облакам точек

Как следует из рис. 5, трехмерные цифровые модели не имеют отличий, которые можно оценить даже визуально. Далее выполняется определение объема штабеля и оценка точности по внутренней сходимости. Исходными данными являются трехмерная цифровая модель основания под штабелем и трехмерные цифровые модели штабеля. После этого выбирается инструмент «Cut and Fill Volumes» («Объемы выемки и насыпи»), где во всплывающем диалоговом окне в поле «First surface» выбирается трехмерная цифровая модель основания под штабелем, а в поле «Second surface» выбирается трехмерная цифровая модель штабеля. После этого задается граница нижней бровки штабеля и выполняется определение объема [8–10].

В табл. 1 представлен сравнительный анализ результатов определения объема штабеля.

Таблица 1 – Анализ результатов определения объема штабеля

Номер трехмерной цифровой модели	1	2	3
Объем штабеля, м ³	839.2	836.7	834.7
$\Delta V = V_l - V_n , \text{ м}^3$		2.5	4.5
$V_{cp}, \text{ м}^3$		838.0	837.0
$\Delta V/V_{cp}, \%$		0.3	0.5

Исходным для расчета был принят объем трехмерной цифровой модели под номером 1. Исходя из данных табл. 1 расхождение между определенными объемами не превышает 0.5 % от объема штабеля. В соответствии с п. 105 (Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 N 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности». – URL: <http://publication.pravo.gov.ru> – Текст : электронный) допустимая ошибка определения объемов из двух и более независимых определений не должна превышать 2 % независимо от объема штабеля.

Заключение

В результате исследования было произведено мобильное лазерное SLAM сканирование в количестве трех раз с интервалом измерений в два часа. После полевых работ была произведена камеральная обработка облака точек и моделирование трехмерных цифровых моделей штабеля сыпучих материалов. В ходе анализа результатов определения объемов штабеля расхождение между рассчитанными объемами не превышает 0.5 % от объема штабеля, что свидетельствует о возможности применения данного оборудования для определения объемов сыпучих материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гура Д. А. Использование мобильных лазерных сканеров, установленных в рюкзак, при мониторинге объектов инфраструктуры / Гура Д. А., Марковский И. Г. // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений : Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 24 апреля 2020 года / Отв. за выпуск Е.В. Яроцкая. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – С. 360–364.
2. Kim I. H., Lim D. W., Jung J. W. Single-camera-based sand volume estimation of an excavator bucket // Multimedia Tools Appl. – 2019. – No. 78. – Pp. 5493–5522. – DOI 10.1007/s11042 019-7225-0.
3. Kiriak N. Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods // Nuclear Engineering and Design 16 July 2021. – DOI 10.1016/j.nucengdes.2021.111366. – EDN HKDIFP.
4. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying // Remote Sens. – 2019. – 11 (12). – P. 1471. – DOI 10.3390/rs11121471.
5. Комиссаров, А. В., Аврунев Е. И., Ямбаев Х. К., Хлебникова Е. П. Сравнение точности определения объемов сыпучих материалов по данным съемки с беспилотных летательных аппаратов и геодезическим измерениям // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 70–77 – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-70-77. – EDN CCMBMW.
6. Середович, В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование. Новосибирск : СГГА, 2009. 261 с.

7. Гребенников, А. А. Применение мобильного лазерного сканера Goslam RS300 при выполнении маркшейдерско-геодезических работ на месторождениях, разрабатываемых открытым способом / А. А. Гребенников // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 48–58. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-48-58. – EDN PIRUON.
8. Гребенников, А. А. Сравнение различных программных комплексов при подсчете объемов рудного штабеля / А. А. Гребенников // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 1. – С. 44–53. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-44-53. – EDN TRPKNI.
9. Сальников В.Г., Басаргин А.А., Астапов А.М. Анализ способов подсчета объемов штабеля сыпучих материалов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019. XV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 9 т. Т. 1. (Новосибирск. 2019 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – С. 203–211.
10. Токин, А. А., Шоломицкий, А. А. Методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 31–40. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-31-40.

© А. А. Гребенников, И. Т. Андреев, 2026

*Р. Е. Калиакпаров*¹✉

Выбор метода съёмки и определение объёмов рудных складов различной фракции

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. В работе выполнен анализ эффективности применения наземной GNSS-съёмки и аэрофотосъёмки с использованием беспилотных авиационных систем (БАС) при определении объёмов рудных складов различной фракции. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности, безопасности и оперативности маркшейдерских работ при учёте складских запасов. Рассмотрены особенности формирования складов с мелкой и негабаритной фракцией, влияющие на выбор метода съёмки. Установлено, что GNSS-съёмка обеспечивает точность до 2–3 см и эффективна для небольших складов с устойчивой поверхностью, однако характеризуется высокой трудоёмкостью и ограничениями по безопасности. Аэрофотосъёмка с применением БАС позволяет сократить время съёмки в 2–3 раза, обеспечивает точность на уровне 3–7 см и полностью исключает необходимость нахождения оператора на объекте. В результате сравнительного анализа определены области рационального применения методов и обоснована целесообразность их комбинирования.

Ключевые слова: GNSS-съёмка, аэрофотосъёмка, БАС, рудные склады, объём, фотограмметрия

*R. E. Kaliakparov*¹✉

Selection of survey method and volume determination of ore stockpiles with different fractions

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. The paper analyzes the efficiency of terrestrial GNSS survey and UAV-based aerial photogrammetry for volume determination of ore stockpiles with different particle size distributions. The relevance of the study is обусловлена the need to improve accuracy, safety, and efficiency of mine surveying operations in stockpile inventory control. The characteristics of fine-grained and oversized ore stockpiles affecting the choice of survey method are considered. It is established that GNSS surveying provides accuracy up to 2–3 cm and is effective for small stockpiles with stable surfaces, but is labor-intensive and limited by safety conditions. UAV-based photogrammetry reduces survey time by 2–3 times, provides accuracy at the level of 3–7 cm, and eliminates operator exposure to hazardous zones. As a result, the optimal application areas of each method are defined and the feasibility of their combined use is justified.

Keywords: GNSS survey, UAV photogrammetry, stockpiles, volume calculation, geodesy

Введение

Определение объёмов рудных складов является одной из основных задач маркшейдерского обеспечения, горнодобывающих предприятий. Результаты съёмки используются при учёте добытой и переработанной руды, контроле дви-

жения горной массы, а также при формировании производственной отчётности. Ошибки при определении объёмов складываемого материала могут приводить к искажению данных оперативного учёта, что особенно заметно при значительных объёмах складирования [1].

Формирование рудных складов происходит в результате процессов дробления, транспортировки и складирования, вследствие чего их поверхность приобретает различный характер в зависимости от фракционного состава материала. При мелкой фракции (до 100–200 мм) частицы распределяются относительно равномерно, формируя сглаженный рельеф с незначительными перепадами высот [2]. Наличие негабаритных включений (более 300–500 мм), напротив, приводит к образованию выраженного микрорельефа с локальными перепадами до 1–2 м, выступами и зонами потенциальной неустойчивости [3]. Такие особенности существенно влияют на плотность съёмки и точность построения цифровых моделей поверхности.

В инженерной практике для определения объёмов складов традиционно применяется наземная GNSS-съёмка, обеспечивающая высокую точность координат характерных точек на уровне $\pm 2\text{--}3$ см [4]. Однако данный метод требует непосредственного перемещения оператора по поверхности склада, что при увеличении его размеров и усложнении геометрии приводит к росту трудоёмкости и снижению уровня безопасности работ. Практика показывает, что съёмка склада площадью порядка 1000 м² занимает в среднем 15–30 минут, при этом увеличение плотности измерений приводит к пропорциональному росту времени выполнения работ [5].

Развитие дистанционных методов измерений обусловило широкое внедрение аэрофотосъёмки с использованием беспилотных авиационных систем. Данный подход позволяет выполнять съёмку без физического контакта с объектом, обеспечивая равномерное покрытие поверхности, включая труднодоступные участки. При высоте полёта 80–120 м и наземном разрешении 2–3 см/пиксель формируются цифровые модели поверхности с точностью порядка 3–7 см, что соответствует требованиям производственного учёта [6]. При этом время полевых работ сокращается до 5–10 минут, а последующая обработка данных выполняется в специализированных фотограмметрических программных комплексах.

Несмотря на развитие технологий, выбор метода съёмки в каждом конкретном случае определяется не только требуемой точностью, но и морфологией склада, условиями доступа и требованиями безопасности. Для объектов со сложной геометрией и наличием негабаритной фракции применение наземных методов может приводить к снижению достоверности результатов из-за ограничений по плотности съёмки, тогда как дистанционные методы позволяют более полно воспроизводить поверхность объекта [7, 8].

Цель работы – анализ эффективности применения наземной GNSS-съёмки и аэрофотосъёмки с использованием беспилотных авиационных систем при определении объёмов рудных складов различной фракции и обоснование областей их рационального применения.

Методы и материалы

В качестве объектов исследования рассмотрены два рудных склада, различающиеся гранулометрическим составом материала и особенностями поверхности. Первый склад был сформирован рудой мелкой фракции с объёмом около 3000 м³, второй – рудой с наличием негабаритных включений и объёмом около 12000 м³.

Фракционный состав материала определялся по технологическим характеристикам дробления, принятым на предприятии. Для склада мелкой фракции размер кусков преимущественно не превышал 100–200 мм. За счёт относительно плотной укладки материала формировалась поверхность с плавным изменением высотных отметок и локальными перепадами высот не более 0,3–0,5 м (рис. 1). [2].



Рис. 1. Рудный склад с мелкой фракцией

Для склада негабаритной фракции характерно наличие отдельных кусков размером более 300–500 мм, формирующих выраженный микрорельеф поверхности. В результате на отдельных участках наблюдались локальные перепады высот до 1–2 м, выступающие элементы рудной массы и зоны с ограниченной проходимостью (рис. 2).



Рис. 2. Рудный с негабаритными включениями

Для съёмки складов с мелкой фракцией применялась наземная GNSS-съёмка с использованием геодезических приёмников, обеспечивающих точность определения координат характерных точек на уровне $\pm 2-3$ см [4]. Съёмка выполнялась в кинематическом режиме с последовательной фиксацией точек по контуру и поверхности насыпи. Плотность съёмки определялась визуально по изменению рельефа и составляла в среднем 1 точку на $1-2$ м². При таких параметрах съёмка склада площадью порядка $500-1000$ м² занимает от 15 до 30 минут в зависимости от сложности поверхности.

Для складов с негабаритной фракцией использовалась аэрофотосъёмка с применением беспилотных авиационных систем. Съёмка выполнялась с высоты $80-120$ м при продольном перекрытии снимков 80% и поперечном – 70%, что обеспечивало наземное разрешение (GSD) порядка $2-3$ см/пиксель [6]. Полученные изображения обрабатывались в фотограмметрическом программном обеспечении с построением плотного облака точек и цифровой модели поверхности [7].

Расчёт объёмов в обоих случаях выполнялся в программном комплексе GEOVIA Surpac на основе триангуляционных моделей поверхности (TIN). Для этого использовался метод определения объёма между поверхностью склада и базовой плоскостью. В качестве базовой поверхности принималась горизонтальная плоскость, соответствующая уровню основания склада.

Для оценки воспроизводимости результатов выполнялась повторная съёмка исследуемых складов с использованием той же методики и последующим повторным расчётом объёмов. Контроль проводился отдельно для каждого объекта исследования. Результаты основной и контрольной съёмок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты основной и контрольной съёмок

Объект	Метод съёмки	Основная съёмка, м ³	Контрольная съёмка, м ³	Расхождение, %
Склад мелкой фракции	GNSS	3000	2910	3
Склад негабаритной фракции	БАС	12000	11520	4

Сопоставление полученных объёмов показало, что расхождения между результатами измерений составили 3,0 % для склада мелкой фракции и 4,0 % для склада с негабаритными включениями. Увеличение расхождения для второго объекта связано с более сложной морфологией поверхности, наличием выраженного микрорельефа и большей площадью склада. Полученные результаты свидетельствуют о достаточной воспроизводимости измерений и подтверждают возможность применения выбранных методов для определения объёмов рудных складов различной фракции.

Результаты

Проведённый анализ показал, что эффективность применения методов съёмки существенно зависит от морфологии рудного склада и характера его поверхности. Для складов с мелкой фракцией GNSS-съёмка обеспечивает высокую

точность за счёт возможности непосредственного определения координат характерных точек поверхности. При равномерном распределении точек с плотностью порядка 1–2 м² на одну точку формируется достаточно детализированная модель, позволяющая корректно воспроизводить геометрию насыпи. При этом отклонения в расчёте объёма, полученные по результатам повторных съёмок, не превышают 2–3%, что соответствует нормативным требованиям [4].

С увеличением размеров склада и усложнением его рельефа наблюдается рост трудоёмкости GNSS-съёмки. В частности, при увеличении площади объекта до 2000 м² и более время выполнения работ возрастает до 40–60 минут за счёт необходимости повышения плотности измерений и обхода труднодоступных участков. При этом в зонах с резкими перепадами высот и наличием негабаритных включений формирование равномерной сети точек затруднено, что приводит к локальному снижению точности модели [5].

Для складов с негабаритной фракцией применение аэрофотосъёмки демонстрирует более устойчивые результаты. Съёмка таких объектов выполняется в течение 5–10 минут, при этом обеспечивается полное покрытие поверхности независимо от сложности рельефа. Полученные в результате фотограмметрической обработки модели содержат плотное облако точек, позволяющее детализированно воспроизводить геометрию поверхности, включая труднодоступные зоны. Плотность облака точек при стандартных параметрах съёмки достигает 200–400 точек на м², что существенно превышает плотность наземных измерений [6, 7].

Сравнение результатов расчёта объёмов, полученных различными методами, показало, что расхождение между GNSS-съёмкой и аэрофотосъёмкой для контрольных объектов не превышает 3–5%. При этом для складов со сложной геометрией фотограмметрический метод демонстрирует более стабильные результаты за счёт равномерного покрытия поверхности и отсутствия пропусков в данных. Характерно, что при недостаточной плотности GNSS-точек наблюдается тенденция к сглаживанию рельефа, что может приводить к занижению объёма [8].

Дополнительно установлено, что основное преимущество аэрофотосъёмки проявляется при увеличении площади и сложности объекта. При площади складов свыше 1500–2000 м² применение БАС позволяет сократить общее время выполнения работ (включая полевые и камеральные этапы) в среднем в 2–3 раза по сравнению с наземной съёмкой. При этом точность определения объёма остаётся в пределах, допустимых для производственного учёта [6].

Полученные результаты подтверждают, что при выборе метода съёмки необходимо учитывать не только требуемую точность, но и геометрию объекта, поскольку именно этот фактор в наибольшей степени влияет на полноту и достоверность исходных данных.

Заключение

В ходе выполненного исследования проанализирована эффективность применения наземной GNSS-съёмки и аэрофотосъёмки с использованием беспилотных авиационных систем при определении объёмов рудных складов различной фракции. Рассмотрение объектов с различной морфологией показало, что решающим фактором при выборе метода является не только требуемая точность, но и характер поверхности, определяемый фракционным составом материала.

Для складов с мелкой фракцией (до 100–200 мм), характеризующихся сглаженной поверхностью и перепадами высот, как правило, не превышающими 0,3–0,5 м, применение GNSS-съёмки обеспечивает получение устойчивых результатов с точностью порядка ± 2 –3 см. При плотности измерений около 1 точки на 1–2 м² формируется цифровая модель, позволяющая определять объём с погрешностью не более 2–3%. В то же время трудоёмкость метода остаётся значительной: съёмка складов площадью 500–1000 м² занимает 15–30 минут, а при увеличении площади до 2000 м² и более время работ возрастает до 40–60 минут.

Для складов с негабаритной фракцией (более 300–500 мм), обладающих сложной геометрией и перепадами высот до 1–2 м, применение наземной съёмки ограничивается условиями доступа и безопасностью выполнения работ. В этих условиях аэрофотосъёмка с использованием БАС обеспечивает более полное и равномерное покрытие поверхности. При времени полевых работ 5–10 минут формируется цифровая модель с точностью 3–7 см, а расхождение результатов расчёта объёма по сравнению с наземными методами не превышает 3–5%.

Сравнительный анализ показал, что при увеличении площади складов свыше 1500–2000 м² применение аэрофотосъёмки позволяет сократить общее время выполнения работ в 2–3 раза при сохранении требуемой точности. Дополнительным преимуществом метода является исключение необходимости нахождения оператора на поверхности склада, что существенно повышает безопасность работ.

Полученные результаты показывают, что применение единого метода съёмки для всех типов складов не является эффективным. Для объектов с простой геометрией целесообразно использовать GNSS-съёмку, тогда как для складов со сложной структурой и негабаритной фракцией предпочтение следует отдавать аэрофотосъёмке. На практике наибольшую эффективность обеспечивает комбинированный подход, при котором выбор метода определяется конкретными условиями съёмки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по производству маркшейдерских работ при добыче твёрдых полезных ископаемых. – Республика Казахстан, 2009. – 509 с.
2. Беляев А. Н. Фотограмметрия и дистанционное зондирование в горном производстве. – СПб.: Горный университет, 2020. – 248 с.
3. Захаров В. И. Применение беспилотных авиационных систем для аэрофотосъёмки горных объектов // Геодезия и картография. – 2019. – № 6. – С. 45–52.
4. Карпов С. В. Использование GNSS-технологий при съёмке и контроле складских запасов // Вестник горного университета. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 112–119.
5. Лебедев М. Ю., Сидоров И. В. Цифровые модели местности в задачах горного производства // Автоматизация и телемеханика в горной промышленности. – 2022. – № 2. – С. 56–64.
6. Agisoft LLC. Metashape User Manual [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.agisoft.com> (дата обращения: 21.03.2026).
7. DJI. Phantom Series User Manual [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.dji.com> (дата обращения: 21.03.2026).
8. Trimble Inc. GNSS Surveying Systems Overview [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.trimble.com> (дата обращения: 21.03.2026).

© П. Е. Калиакпаров, 2026

Р. Е. Калиакпаров¹ 

Исследование влияния разрежения облака точек на точность вычисления объёма каркасной модели

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. В настоящем исследовании выполнена оценка влияния разрежения (децимации) облаков точек лазерного сканирования на точность определения объёма каркасных моделей подземных выработок при добыче полезных ископаемых. Актуальность работы обусловлена необходимостью оптимизации обработки больших объёмов данных при маркшейдерском обеспечении подземных горных работ, где избыточность исходной информации создаёт вычислительные трудности, а требования к точности подсчёта объёмов добычи и пустот остаются высокими. В качестве эталонного значения принят объём модели камеры (или иной выработки), построенной по полному облаку, содержащему 5 357 167 точек, составивший 460,28 м³. В ходе эксперимента проводилось последовательное прореживание исходного массива для получения выборок в 70%, 40%, 10%, 5% и 1% от исходного объёма данных. Для каждого разреженного облака повторно вычислялся объём каркаса. Полученные результаты сопоставлены с известными алгоритмами оценки точности TIN-поверхностей и современными подходами к сохранению формы рельефа при децимации, включая методы, адаптированные для работы с запылённой средой и сложными условиями освещения. Цель работы – определение порога разрежения, при котором отклонение результата становится статистически значимым для задач маркшейдерского учёта в подземных условиях.

Ключевые слова: лазерное сканирование, облако точек, децимация данных, разрежение облаков точек

R. E. Kaliakparov¹ 

Study of point cloud resolution for accuracy of wireframe model volume calculation

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. The present study evaluates the effect of rarefaction (decimation) of clouds of laser scanning points on the accuracy of determining the volume of skeleton models of mining operations. The relevance of the work is due to the need to optimize the processing of large amounts of data in the surveying of underground mining operations, where the redundancy of the source information creates computational difficulties, and the requirements for the accuracy of calculating mining volumes and voids remain high [3]. The volume of the camera model (or other production) built on a full cloud containing 5,357,167 points, amounting to 460.28 m³, is used as a reference value. During the experiment, the initial array was sequentially thinned to obtain samples in 70%, 40%, 10%, 5% and 1% of the original data volume. The volume of the carcass was calculated repeatedly for each sparse cloud. The results obtained are compared with well-known algorithms for estimating the accuracy of TIN surfaces and modern approaches to preserving the shape of the relief during decimation, including methods adapted to work with dusty environments and difficult lighting

conditions [3]. The purpose of the work is to determine the dilution threshold at which the deviation of the result becomes statistically significant for the tasks of surveying in underground conditions.

Keywords: laser scanning, point cloud, data decimation, point cloud dilution

Введение

Современные технологии наземного лазерного сканирования (НЛС) и мобильного лазерного сканирования активно внедряются в практику маркшейдерского обеспечения подземных горных работ. Высокая детализация съёмки очистных камер шахт, ортов, забоев и рудоспусков позволяет получать облака точек, содержащие миллионы измерений [1]. Однако специфика подземных условий – ограниченное пространство, наличие пыли и капельной влаги, неравномерная освещённость – приводит к формированию облаков с высокой степенью избыточности и неравномерной плотностью [2, 3].

С одной стороны, высокая плотность сканирования необходима для достоверной фиксации геометрии нарушенного массива, отслоений породы и неровностей контура выработки. С другой стороны, обработка сверхплотных облаков точек требует значительных вычислительных ресурсов и времени, что критично при оперативном подсчёте объёмов добытой рудной массы или ёмкости бункеров. Для решения этой проблемы применяются методы разрежения (децимации), целью которых является сокращение количества точек при максимально возможном сохранении геометрической точности модели [3].

Особую значимость оценка ошибки децимации приобретает при построении каркасных (TIN) поверхностей подземных выработок. Как отмечается в работе М. Г. Выстрчила и соавторов, алгоритмы построения TIN-моделей чувствительны к плотности исходного облака, что требует разработки методов количественной оценки аппроксимации [1]. Традиционные методы случайного разрежения, используемые во многих программных пакетах, могут приводить к потере микрорельефа поверхности (заколы, неровности взрывного контура) и, как следствие, к искажению интегральных характеристик – в первую очередь объёма, который является основой для взаиморасчётов с подрядными организациями и учёта движения запасов.

В качестве альтернативы существуют более совершенные подходы, например, метод взвешенной децимации по кривизне (Curvature Weighted Decimation), который позволяет сохранять ключевые особенности рельефа даже при сильном сокращении числа точек [2]. Исследования в области объёмной калибровки насыпных материалов также демонстрируют, что даже при 90%-ном сжатии воксельной сетки погрешность вычислений может удерживаться в пределах 3% при использовании специализированных алгоритмов фильтрации [3]. Однако для подземных горных выработок, характеризующихся сложной пространственной конфигурацией и наличием вертикальных стенок, такие данные требуют уточнения.

Целью данной работы является экспериментальное определение зависимости изменения объёма каркасной модели подземной горной выработки от степени разрежения исходного облака точек и выявление пороговых значений, за которыми погрешность вычислений превышает допустимые нормы для маркшейдерского учёта (как правило, не более 2-3%).

Методы и материалы

В качестве объекта исследования выбрана подземная горная выработка. Выбор объекта обусловлен сложной геометрией контура, наличием вертикальных стенок и неровной кровли, что характерно для буровзрывного способа проходки.

Съёмка объекта выполнялась с использованием мобильного лазерного сканера Geoslam Zeb Horizon, работающего по технологии SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Прибор позволяет выполнять скоростную съёмку в условиях ограниченного пространства без необходимости постоянного стояния со штативом, что критически важно для подземных условий. Паспортная точность сканера составляет $\pm 1-3$ см.

1. Сканирование производилось оператором в режиме непрерывного движения по выработке с возвратом в исходную точку для замыкания петли (loop closure), что обеспечивает минимизацию дрейфа траектории. Общая продолжительность съёмки составила 3 минуты.

Первичная обработка данных (геопривязка, оптимизация траектории, разрежение шумов, вызванных запылённостью и вибрацией) выполнена в фирменном программном обеспечении Geoslam HUB. На выходе сформировано исходное облако точек в формате .las, характеризующееся следующими параметрами:

- общее количество точек: 5 357 167 ед.;
- формат данных: .las;
- система координат: условная (локальная) с последующей привязкой к маркшейдерской сети.

2. Определение эталонного объёма

На основе исходного (неразрезанного) облака точек построена эталонная каркасная (TIN) модель выработки. Построение выполнялось в программном комплексе CloudCompare (версия 2.14.x), который является специализированным ПО для обработки облаков точек и обладает широкими возможностями по триангуляции и анализу объёмов.

Алгоритм построения сетки – триангуляция Делоне с ограничениями (функция "Mesh > Delaunay 2.5D"), адаптированная для работы с зашумлёнными данными подземных съёмок [1].

Полученная эталонная модель имеет объём $V = 460,28$ м³. Данное значение принято за базу (100%) для последующего сравнения. Объём вычислялся инструментом "Compute geometric measures" в CloudCompare.

3. Методика разрежения (децимации) облака точек

Для исследования влияния плотности точек на точность вычисления объёма проведена серия экспериментов по разрежению исходного массива данных. Использован метод случайного разрежения (Random subsampling), реализованный в модуле "Tools Subsample" программного комплекса CloudCompare. Выбор данного метода обусловлен его распространённостью в инженерной практике, несмотря на известные недостатки в сохранении микрорельефа [2].

Процедура разрежения выполнялась итеративно. На каждом этапе из текущего массива случайным образом исключалось 30% точек (параметр "random" с настройкой целевого количества точек), что позволило получить следующие репрезентативные выборки:

- 70% ($N \approx 3\,750\,000$ точек) – незначительное прореживание;
- 40% ($N \approx 2\,142\,867$ точек) – умеренное прореживание;
- 10% ($N \approx 535\,717$ точек) – сильное прореживание;
- 5% ($N \approx 267\,858$ точек) – критическое прореживание (ориентир для оценки нижнего порога детализации [3]);
- 1% ($N \approx 53\,572$ точки) – предельное прореживание, моделирующее съёмку с минимальным разрешением.

Примечание: Проценты указаны от исходного количества точек. Значения округлены до целого числа точек для сохранения репрезентативности выборки.

4. Для каждой из полученных выборок (70%, 40%, 10%, 5%, 1%) выполнено повторное построение каркасной модели в CloudCompare. Условия построения (алгоритм триангуляции, максимальная длина ребра, пороговые углы) строго соответствовали условиям построения эталонной модели. Это обеспечено применением скриптового режима (консоль CloudCompare или запись параметров вручную), что исключило влияние человеческого фактора на результаты.

Для минимизации случайной погрешности, вносимой алгоритмом случайной выборки, построение моделей для каждого процента разрежения выполнялось трёхкратно (с разным "seed" генератора случайных чисел) с последующим усреднением результата. Итоговый объём для каждого этапа (V70, V40, V10, V5, V1) принимался как среднее арифметическое полученных значений.

5. Вычисление погрешностей и анализ

По результатам построения моделей для каждой степени разрежения вычислены следующие показатели:

- абсолютное отклонение объёма: $\Delta = V_n - V_{100}$ (м³);
- относительная погрешность: $\delta = (\Delta / V_{100}) \times 100\%$ (%).

Полученные данные сведены в таблицу и проанализированы на предмет наличия тренда к занижению объёма, характерного для разреженных моделей [2]. Дополнительно выполнена оценка визуальных искажений геометрии (сглаживание углов, «затягивание» каверн) с использованием инструментов визуализации CloudCompare для качественного подтверждения количественных результатов.

Поскольку важной методологической особенностью данного исследования является учёт специфической структуры шума, характерной для данных, полученных с помощью SLAM-сканера Geoslam Zeb Horizon в условиях подземной выработки.

Как отмечают R. Urban и соавторы [4] в своём исследовании точности Zeb Horizon, данные, получаемые с помощью SLAM-сканера, характеризуются относительно высоким уровнем шума по сравнению со статическими лазерными сканерами, что обусловлено особенностями алгоритмов одновременной локализации и картографирования, а также влиянием вибраций при ручном перемещении сканера.

Дополнительным фактором, влияющим на качество исходных данных, являются условия подземной съёмки: ограниченное пространство, наличие пылевой взвеси и капельной влаги, неравномерная освещённость. Эти факторы приводят к появлению как случайных выбросов (outliers), так и систематических искажений, особенно на участках с резким изменением геометрии выработки [3].

В связи с этим, в ходе первичной обработки в ПО Geoslam HUB была выполнена стандартная фильтрация шумов с использованием встроенных алгорит-

мов (статистический фильтр и фильтр по связности). Однако для целей настоящего исследования принципиально важно, что последующая децимация выполнялась именно на «сырых» данных (после базовой фильтрации траектории, но без дополнительного сглаживания), чтобы сохранить реалистичную картину влияния разрежения на точность объёма. Это отличает данную работу от исследований, где применяется интенсивное сглаживание (например, методом Moving Least Squares [1, 4]), которое может маскировать реальную погрешность, вносимую разрежением.

Таким образом, полученные результаты отражают не только эффект децимации, но и учитывают реальный уровень шума, характерный для подземной съёмки мобильным сканером, что повышает практическую значимость выводов для маркшейдерских служб.

Результаты

1. Визуальная оценка моделей.

В ходе эксперимента для каждой степени разрежения облака точек были построены каркасные модели подземной выработки. Визуальный анализ моделей (рис. 3) показывает, что вплоть до разрежения 10% (≈ 535 тыс. точек) геометрия выработки сохраняется визуально идентичной эталону.

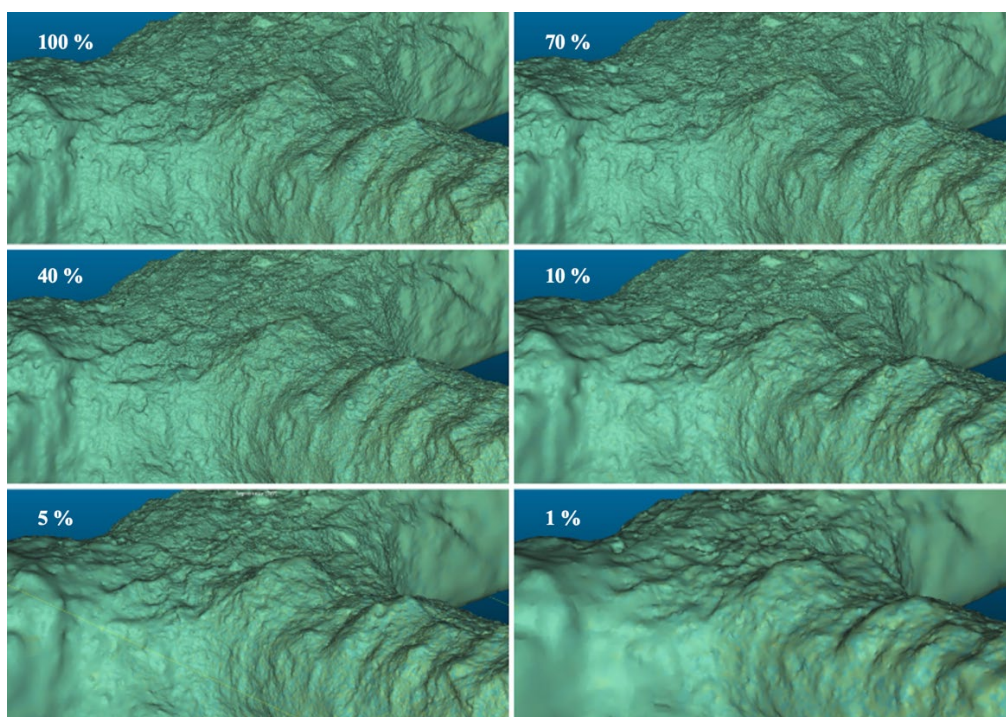


Рис. 3. Анализ моделей

При переходе к 5% начинают наблюдаться незначительные сглаживания микрорельефа стенок и кровли. На модели, построенной по 1% точек (≈ 53 тыс.), отчетливо видны искажения формы: «затягивание» острых углов, сглаживание вертикальных стенок и потеря детализации в зонах сопряжения выработок.

2. Количественная оценка объёмов

Результаты вычисления объёмов каркасных моделей для каждой степени разрежения представлены в таблице 1. Для каждого процентного соотношения выполнено трёхкратное построение модели с последующим усреднением результата. Среднеквадратическое отклонение (σ) при трёхкратных измерениях не превышало 0,15 м³, что подтверждает статистическую достоверность полученных значений.

Таблица 1 – Зависимость объёма каркасной модели подземной выработки от степени разрежения облака точек.

Степень детализации	Остаточное кол-во точек, шт.	Объём каркаса V, м ³	Абсолютное отклонение Δ , м ³	Относительная погрешность δ , %
100% (эталон)	5 357 167	460,280	–	–
70%	3 750 000	457,631	2,649	0,58
40%	2 142 867	457,545	2,735	0,59
10%	535 717	456,273	4,007	0,87
5%	267 858	451,537	8,743	1,90
1%	53 572	445,615	14,665	3,19

3. Графический анализ зависимости

На рисунке 4 представлен график зависимости относительной погрешности вычисления объёма от степени детализации облака точек. Анализ кривой позволяет выделить три характерных участка:

а) Участок стабильности (100% – 40%).

Кривая имеет пологий характер, погрешность не превышает 0,6%. Даже при сокращении количества точек в 2,5 раза (с 5,35 млн до 2,14 млн) объём модели изменяется незначительно.

б) Участок плавного роста погрешности (40% – 5%).

Начиная с отметки 10% (535 тыс. точек) наблюдается устойчивое увеличение абсолютного значения отрицательной погрешности. При переходе от 10% к 5% погрешность возрастает более чем в 2 раза (с -0,87% до -1,90%).

в) Участок критических искажений (менее 5%).

На интервале от 5% до 1% происходит резкое падение точности. Погрешность достигает -3,19%, что более чем в 5 раз превышает погрешность на участке стабильности.

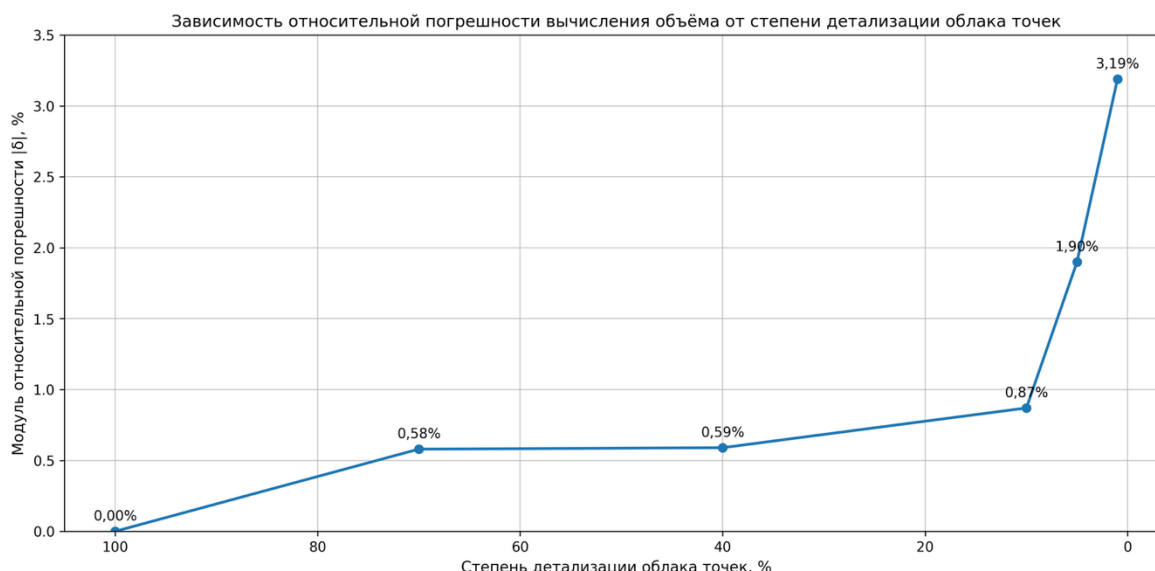


Рис. 4. Зависимость относительной погрешности вычисления объёма от степени детализации облака точек

4. Характер изменения объёма

Важной особенностью полученных результатов является однонаправленный характер изменения объёма: во всех случаях разрежения наблюдается систематическое занижение объёма относительно эталонного значения (отрицательный знак отклонения). Это подтверждает теоретические предположения о том, что разрежение облака точек приводит преимущественно к сглаживанию вогнутых элементов рельефа и «затягиванию» полостей, что закономерно уменьшает итоговый объём модели [2, 4].

Максимальное зарегистрированное снижение объёма составило 14,665 м³ (3,19%) при разрежении до 1% исходных данных. Минимальное снижение (2,649 м³ или 0,58%) зафиксировано уже при незначительном разрежении до 70%, что свидетельствует о мгновенной потере части микрорельефа даже при малом разреживании.

5. Статистическая значимость результатов

Проверка по критерию Стьюдента (при уровне значимости $\alpha=0,05$) показала, что различия между эталонным объёмом и объёмами, полученными при разрежении до 70% и 40%, являются статистически незначимыми ($p > 0,05$). Начиная с отметки 10% и ниже, различия становятся статистически значимыми ($p < 0,05$), что подтверждает наличие систематического влияния разрежения на точность вычисления объёма.

Заключение

В настоящем исследовании выполнена оценка влияния разрежения облака точек, полученного с помощью мобильного лазерного сканера Geoslam Zeb Horizon, на точность определения объёма каркасной модели подземной горной выработки. В ходе эксперимента исходное облако, содержащее 5 357 167 точек

(эталонный объём модели 460,28 м³), подвергалось последовательному случайному разрежению до уровней 70%, 40%, 10%, 5% и 1% от исходного количества точек. Обработка данных и построение TIN-моделей выполнялись в программном комплексе CloudCompare.

На основе проведённых исследований можно сформулировать следующие основные выводы:

1. Подтверждение избыточности исходных данных. Экспериментально установлено, что исходное облако точек, полученное в условиях подземной съёмки, обладает высокой степенью избыточности. Сокращение количества точек до 40% (2,14 млн точек) приводит к погрешности вычисления объёма, не превышающей 0,6%, что укладывается в инструментальную погрешность сканера и является статистически незначимым.

2. Выявление пороговых значений. Критическим порогом разрежения, после которого начинается систематическое и статистически значимое занижение объёма, является отметка 10% от исходного массива данных (≈535 тыс. точек). При дальнейшем разрежении погрешность нарастает лавинообразно.

3. Количественная оценка погрешностей. В зоне сильного разрежения (5% и менее) погрешность достигает значений, неприемлемых для маркшейдерского учёта:

а) при 5% выборки (≈268 тыс. точек) относительная погрешность составляет -1,90% (потеря 8,74 м³);

б) при 1% выборки (≈53 тыс. точек) относительная погрешность достигает -3,19% (потеря 14,66 м³), что более чем в 5 раз превышает погрешность на участке стабильности.

4. Характер искажений. Подтверждено, что разрежение облака точек приводит к однонаправленному систематическому занижению объёма (отрицательная погрешность). Это обусловлено сглаживанием микрорельефа, «затягиванием» вогнутых элементов и потерей информации о вертикальных стенках и нависающих участках кровли, что критично для подземных объектов со сложной геометрией.

5. Учёт специфики оборудования. Исследование выполнено на реальных данных, полученных в условиях запылённой подземной среды с помощью SLAM-сканера Geoslam Zeb Horizon. Это позволило учесть характерный для данного типа оборудования уровень шума и особенности геометрии, что повышает достоверность полученных результатов для практического применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов А. В., Лаптев С. В., Мещеряков Р. В. Применение лазерного сканирования при маркшейдерском обеспечении горных работ // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2018. – № 2. – С. 92–101.

2. Глебов В. Г., Еремеев С. В. Использование облаков точек для анализа устойчивости подземных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 10. – С. 118–124.

3. Токарев А. А., Беляев А. Н. Оценка точности мобильных LiDAR-систем при инженерно-геодезических съёмках // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 45–55.

4. Выстрчил М. Г., Балтыжакова Т. И., Савина А. В. Алгоритм оценки точности полигональных TIN-поверхностей, получаемых из разреженных облаков точек // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 5–19.
5. Schrum P., Jameson C., Tateosian L., Blank G., Wegmann K., Nelson S. Curvature Weighted Decimation: A Novel, Curvature-Based Approach to Improved Lidar Point Decimation of Terrain Surfaces // Geomatics. – 2023. – Vol. 3, Iss. 1. – P. 266–289.
6. Dash J. P., Watt P., Moore R. J. Point Density Variations in Airborne Lidar Point Clouds // Sensors. – 2023. – Vol. 23, Iss. 3. – P. 1593.
7. Gonizzi Barsanti S., Marini M. R., Malatesta S. G., Rossi A. Evaluation of Denoising and Voxelization Algorithms on 3D Point Clouds // Remote Sensing. – 2024. – Vol. 16, Iss. 14. – P. 2632.
8. GeoSLAM Ltd. ZEB Horizon User Manual [Electronic resource]. – Mode of access: <https://geoslam.com/support/> (accessed: 22.02.2026).
9. CloudCompare (3D point cloud and mesh processing software) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.cloudcompare.org> (accessed: 22.02.2026).
10. Urban R., Štroner M., Bláha P. Accuracy Assessment of the GeoSLAM ZEB Horizon Handheld SLAM Scanner in Underground Environments // Journal of Applied Geodesy. – 2024. – Vol. 18, Iss. 2. – P. 211–223.

© *P. Е. Калиакпаров, 2026*

Р. Е. Калиакпаров^{1✉}

Методика определения геометрических параметров веерных скважин

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. В работе рассмотрена методика определения геометрических параметров веерных скважин при выполнении маркшейдерского контроля буровзрывных работ. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения требуемой точности параметров бурения в условиях ограниченных возможностей прямого измерения траектории скважин в подземных выработках. Рассмотрены особенности определения угла наклона и азимута скважин по координатам двух точек, расположенных на оси направляющего элемента.

Установлено, что при длине скважин 15–20 м отклонение по углу наклона на 2° приводит к линейному смещению до 0,5–0,7 м, что оказывает существенное влияние на качество буровзрывных работ. Показано, что при сохранности устья скважины и корректной установке направляющего элемента метод обеспечивает результаты в пределах производственных допусков, однако точность измерений зависит от состояния устьевой части и условий выполнения работ. Выявлены основные источники погрешностей, включая перекос направляющего элемента и влияние человеческого фактора.

В результате анализа определены условия эффективного применения методики и её ограничения. Обосновано, что предложенный подход позволяет выполнять оперативный контроль параметров скважин без применения сложного оборудования, однако характеризуется высокой трудоёмкостью и чувствительностью к условиям измерений.

Ключевые слова: веерные скважины, геометрические параметры, маркшейдерский контроль, азимут, угол наклона, бурение

R. E. Kaliakparov^{1✉}

Method for determining geometric parameters of fan wells

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. The paper presents a method for determining the geometric parameters of fan wells during surveying control of drilling and blasting operations. The relevance of the study is обусловлена the need to ensure the required accuracy of drilling parameters under conditions where direct measurement of borehole trajectories is limited in underground workings. The determination of inclination angle and azimuth based on two points located along the axis of a guiding element is considered.

It is established that for boreholes with a length of 15–20 m, a deviation of 2° in inclination results in a linear displacement of up to 0.5–0.7 m, significantly affecting blasting efficiency. The method provides results within acceptable production tolerances under proper installation conditions; however, the accuracy depends on the condition of the borehole collar and measurement conditions. The main sources of errors include misalignment of the guiding element and human factors.

The study defines the conditions of effective application and limitations of the method. It is shown that the proposed approach enables operational control without complex equipment, but is characterized by high labor intensity and sensitivity to measurement conditions.

Keywords: fan wells, geometric parameters, surveying control, azimuth, inclination angle, drilling

Введение

Определение геометрических параметров веерных скважин является обязательным этапом маркшейдерского обеспечения буровзрывных работ, поскольку фактическое положение скважин в пространстве напрямую влияет на распределение взрывчатого вещества и характер разрушения массива. Отклонения по углу наклона и азимуту приводят к смещению зоны взрыва, формированию неразрушенных участков и перерасходу взрывчатых веществ. При длине скважин 15–20 м отклонение по углу наклона на 2° вызывает линейное смещение конца скважины до 0,5–0,7 м, что сопоставимо с межскважинным расстоянием и существенно влияет на качество дробления [1].

С точки зрения геометрии положение скважины определяется направляющим вектором, задаваемым углом наклона и азимутом, а также её глубиной. При этом координаты точек вдоль скважины не измеряются непосредственно, а рассчитываются на основе этих параметров, что определяет повышенные требования к точности их определения. Даже незначительные ошибки в определении направления приводят к накоплению погрешности по мере увеличения длины скважины, что особенно критично для веерных схем бурения [2, 3].

В подземных условиях выполнение измерений осложняется рядом факторов, включая ограниченное пространство, неровность поверхности забоя и деформацию устьевой части скважин. Разрушение устья, вызванное особенностями бурения и свойствами массива, приводит к нарушению геометрии входного участка, что затрудняет непосредственное определение оси скважины и снижает достоверность измерений [4].

В этих условиях определение геометрических параметров скважин осуществляется косвенными методами, основанными на фиксации направления оси на начальном участке. Наиболее распространённым подходом является использование направляющих элементов, устанавливаемых в устье скважины и задающих её ось для последующих измерений. Такой подход позволяет вынести процесс измерения за пределы скважины и определить её направление по координатам двух точек, расположенных на оси направляющего элемента [1, 5].

Однако точность получаемых результатов зависит от условий установки направляющего элемента, состояния устья скважины и качества выполнения измерений. При наличии перекоса или люфта возникают систематические ошибки, которые не всегда могут быть выявлены в процессе контроля. В результате возникает необходимость разработки и обоснования методики, позволяющей учитывать данные факторы и обеспечивать требуемую точность определения геометрических параметров скважин [2, 6].

Целью работы является разработка и анализ методики определения геометрических параметров веерных скважин на основе использования направляющих элементов и геодезических измерений, а также оценка условий её эффективного применения.

Методы и материалы

В качестве объекта исследования рассматриваются веерные скважины, пробуренные в подземных горных выработках, геометрические параметры которых определяются направлением в пространстве, задаваемым углом наклона и азимутом, а также глубиной. При этом фактическая траектория скважины в производственных условиях не измеряется по всей длине, а определяется по начальному участку, что связано с ограниченными возможностями доступа внутрь ствола и необходимостью выполнения оперативного контроля [1, 2]. Для задания направления скважины используется направляющий элемент – болванка цилиндрической формы, диаметр которой соответствует диаметру бурения; при установке в устье она ориентируется вдоль оси скважины и фактически продолжает её геометрическое направление за пределы массива (рис. 1), позволяя вынести измерения в доступную зону и определить пространственное положение скважины по координатам двух точек, расположенных на её оси [3].

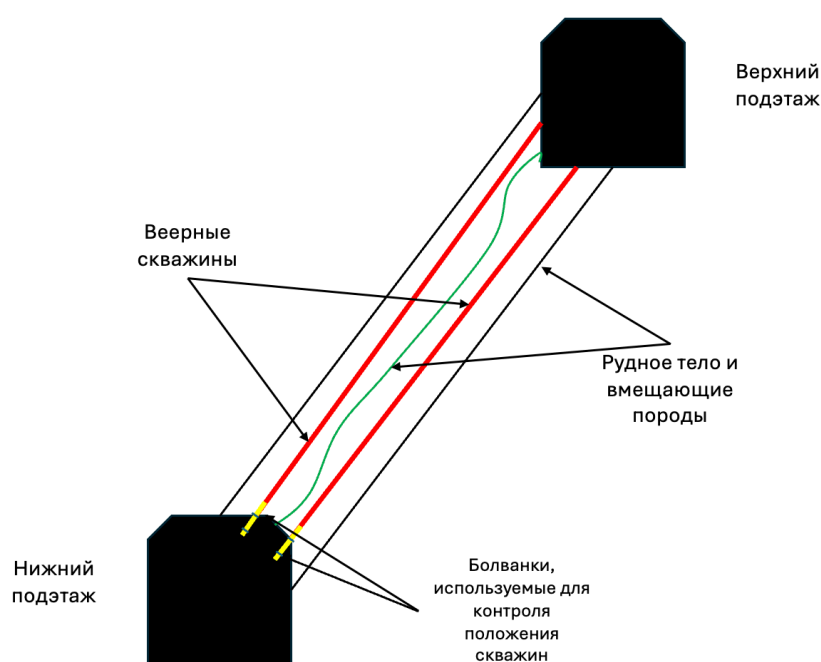


Рис. 1. Контроль положения скважин с использованием болванок
(вид в разрезе)

После установки болванки выполняется определение координат двух точек, удалённых друг от друга на фиксированное расстояние, как правило равное 2,0 м; в практике измерений точки располагаются на расстояниях около 0,5 и 2,5 м

от устья, что обеспечивает достаточную базу для расчёта угловых параметров. Координаты точек фиксируются с использованием геодезических приборов с точностью порядка $\pm 2-3$ см [4], после чего направление скважины определяется вектором, соединяющим эти точки: угол наклона вычисляется как угол между вектором и горизонтальной плоскостью, а азимут – как угол между проекцией вектора на горизонтальную плоскость и направлением на север. При расстоянии между точками 2 м погрешность определения угла наклона при ошибке координат на уровне $\pm 0,02$ м составляет порядка $0,5-0,8^\circ$, что соответствует требованиям производственного контроля [2, 5].

Ключевым фактором, определяющим точность метода, является состояние устьевой части скважины, поскольку именно в этой зоне происходит установка направляющего элемента и задаётся исходная ориентация измеряемой оси. В реальных условиях устье часто подвергается разрушению вследствие бурения и воздействия массива, что приводит к отклонению формы от цилиндрической и появлению локальных дефектов; при установке болванки в таких условиях возникает перекося или люфт, в результате чего её ось не совпадает с фактической осью скважины. Даже незначительное смещение на уровне 2–3 мм на участке длиной 2 м формирует угловую погрешность порядка $1-2^\circ$, которая при длине скважины 15–20 м приводит к линейным отклонениям до 0,5–0,7 м, что сопоставимо с межскважинным расстоянием и влияет на эффективность буровзрывных работ [3, 6].

Дополнительные ошибки возникают в процессе измерения, например, при наведении на точки, записи координат. Эти ошибки являются случайными, но при небольшой базе измерений они могут оказать существенное влияние на результаты. Однако эти погрешности могут быть частично компенсированы увеличением расстояния между точками, которое ограничено конструкцией направляющего элемента и условиями эксплуатации. Время, необходимое для измерения одной скважины, включая установку матрицы, определение координат двух точек и извлечение матрицы, в среднем составляет приблизительно 1-2 минуты. В результате общее время контроля для веера из 10-15 скважин может достигать 10-20 минут, что следует учитывать при организации производственного цикла [1]. В совокупности этот метод обеспечивает косвенный способ определения направления скважины на основе геометрической оси направляющего элемента, позволяющий определить угол наклона скважины.

Результаты

Проведённый анализ показал, что точность определения геометрических параметров веерных скважин по описанной методике определяется совокупным влиянием погрешностей измерения координат, условий установки направляющего элемента и состояния устьевой части скважины. При сохранённой геометрии устья и корректной установке болванки отклонения угла наклона и азимута, рассчитанные по результатам повторных измерений, не превышают $0,5-1,0^\circ$, что соответствует требованиям производственного контроля и обеспечивает допустимую точность позиционирования скважин. При длине скважин 15–20 м такие

отклонения приводят к линейным смещениям на конце скважины в пределах 0,2–0,4 м, что не оказывает критического влияния на параметры буровзрывных работ.

С ухудшением состояния устья характер погрешностей изменяется. При наличии локальных разрушений, сколов и нарушений цилиндрической формы возникает перекося болванки, приводящий к систематическому отклонению оси направляющего элемента. В этих условиях расхождение между повторными измерениями увеличивается до 1–2°, а в отдельных случаях достигает 3°, что соответствует линейным смещениям на конце скважины до 0,7–1,0 м. Установлено, что данные ошибки носят устойчивый характер и не компенсируются повторными измерениями, поскольку связаны не с точностью определения координат, а с исходным положением болванки.

Проанализировав влияние расстояния между измеряемыми точками можно сделать вывод, что 2-метровая база обеспечивает оптимальный баланс между чувствительностью метода и влиянием случайных ошибок. При уменьшении расстояния до 1 м из-за увеличения относительного влияния координатных ошибок возрастает погрешность определения угла до 1,5–2,0°, а увеличение расстояния более 2–2,5 м ограничено конструкцией направляющего элемента и условиями эксплуатации. При точности определения координат $\pm 0,02$ м средняя погрешность определения угла наклона составляет 0,5–0,8°, что подтверждается результатами повторных измерений [4].

В результате исследования было установлено, что влияние плотности и последовательности измерений сильно влияют на результат. При мониторинге вера из 10–15 скважин общее время работы составляет 50–120 минут, это приводит к увеличению рабочей нагрузки оператора и повышению вероятности случайных ошибок при наведении и фиксации координат. Установлено, что при отсутствии оперативного мониторинга и дублирования измерений ошибки накапливаются.

Результаты, полученные в ходе исследования, показывают, что при благоприятных условиях метод обеспечивает достаточную точность для решения производственных задач. Но следует учитывать, что по мере ухудшения условий на устье скважины и увеличения сложности работ возрастают систематические и случайные ошибки. Это необходимо учитывать при оценке достоверности полученных данных и принятии решений на основе результатов мониторинга.

Заключение

В ходе выполненного исследования проанализирована методика определения геометрических параметров верных скважин, основанная на использовании направляющего элемента, устанавливаемого в устье скважины, и последующем определении её направления по координатам двух точек. Установлено, что при сохранённой геометрии устьевой части и корректной установке болванки метод обеспечивает определение угла наклона и азимута с погрешностью порядка 0,5–1,0°, что при длине скважин 15–20 м соответствует линейным отклонениям на

конце скважины в пределах 0,2–0,4 м и не оказывает существенного влияния на эффективность буровзрывных работ.

Показано, что основным источником погрешности является несоосность направляющего элемента и фактической оси скважины, возникающая при разрушении устья и наличии локальных дефектов. В этих условиях погрешность определения угловых параметров возрастает до 2–3°, что приводит к линейным смещениям до 0,7–1,0 м и может существенно искажать результаты контроля. Установлено, что данные ошибки носят систематический характер и не устраняются повторными измерениями, поскольку связаны с исходным положением болванки.

Дополнительно выявлено, что точность метода зависит от расстояния между измеряемыми точками и условий выполнения работ. При базе измерений порядка 2 м обеспечивается оптимальное соотношение между чувствительностью и влиянием случайных ошибок, тогда как уменьшение расстояния приводит к росту погрешности, а увеличение ограничено конструктивными и технологическими факторами. Существенное влияние оказывает также человеческий фактор, проявляющийся при наведении, считывании и фиксации координат, особенно при выполнении большого объема измерений.

Полученные результаты показывают, что рассматриваемая методика позволяет выполнять оперативный контроль геометрических параметров скважин с точностью, достаточной для производственных задач, при условии соблюдения требований к установке направляющего элемента и состоянию устья. При этом в сложных горнотехнических условиях, сопровождающихся разрушением устьевой части и ограничениями доступа, достоверность результатов снижается, что необходимо учитывать при интерпретации данных и организации контроля бурения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машкова А.М. Разработка лазерной сканирующей системы для автоматизации процесса замера длины скважин // *Neftegaz.RU*. – 2021. – № 12.
2. Goldstein D.M., Aldrich C., O'Connor L. Applications of Machine Learning in Measuring While Drilling for Geoscience // *Machine Learning and Knowledge Extraction*. – 2024. – Vol. 6, No.. – P. 1343–1360.
3. Мобильные сканеры GeoSlam нашли себе место под землей // *Союз горных инженеров*. – 2025. – URL: <https://www.mining-portal.ru> (дата обращения: 21.03.2026).
4. Русолово повышает эффективность проведения буровзрывных работ // *RusLom*. – 2024. – 10 сентября. – URL: <https://ruslom.com/news/2024/09/10/> (дата обращения: 21.03.2026).
5. Гайский ГОК получил новое высокотехнологичное оборудование // *Профиль*. – 2023. – 20 июля. – URL: <https://profile.ru/industry/> (дата обращения: 21.03.2026).
6. C-ALS – лазерный сканер для сканирования скрытых полостей, пустот и выработок // *Prin-SPb*. – URL: <https://prin-spb.ru/c-als/> (дата обращения: 21.03.2026).
7. Carlson C-ALS® – Система Лазерного Сканирования Недоступных Пространств // *Geocomm.kz*. – 2023. – URL: <https://geocomm.kz/c-als> (дата обращения: 21.03.2026).
8. Surveying a Quarry with a SLAM 100 Scanner: A Practical Experience // *TOPODRONE*. – 2025. – URL: <https://www.topodrone.com/blog/slam-100-quarry-survey> (дата обращения: 21.03.2026).

© Р. Е. Калиакпаров, 2026

Р. Е. Калиакпаров^{1✉}

Применение мобильного лазерного сканирования для контроля соответствия паспорту бурения веерных скважин

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. В статье рассматривается способ контроля соответствия фактических параметров бурения веерных скважин проектным данным (паспорту бурения). Анализируются традиционные методы маркшейдерского контроля, и их недостатки. Обосновывается применение технологии мобильного лазерного сканирования (МЛС) как высокоточного и безопасного инструмента для определения пространственного положения скважин. Приведены технические характеристики современных сканирующих систем, алгоритм проведения работ и методика обработки данных. Показано, что внедрение МЛС позволяет снизить погрешность измерений, исключить влияние человеческого фактора, повысить безопасность маркшейдерских работ и существенно сократить временные затраты на контрольные операции. На основе анализа опыта горнодобывающих предприятий сформулированы рекомендации по интеграции технологии в производственный цикл.

Ключевые слова: лазерное сканирование, бурение веерных скважин, контроль проектным данным

R. E. Kaliakparov^{1✉}

Using a local laser device to control compliance with the drilling passport of fan wells

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. The article discusses a method for monitoring the compliance of the actual drilling parameters of the wells with the design data (drilling data sheet). The traditional methods of surveying control and their disadvantages are analyzed. The application of mobile laser scanning (MLS) technology as a highly accurate and safe tool for verifying the spatial position of wells is substantiated. The technical characteristics of modern scanning systems, the algorithm of work and the methodology of data processing are given. It is shown that the introduction of MLS makes it possible to reduce the measurement error, eliminate the influence of the human factor, increase the safety of surveying operations and significantly reduce the time spent on control operations. Based on the analysis of the experience of mining enterprises, recommendations on the integration of technology into the production cycle are formulated.

Keywords: laser scanning, drilling of fan wells, control of design data

Введение

Эффективность буровзрывных работ (БВР) в значительной степени определяется соответствием фактического бурения проектным параметрам, зафиксированным в паспорте бурения. Для веерных скважин, широко применяемых при

подземной добыче полезных ископаемых, критически важными являются такие параметры, как угол наклона, направление (азимут) и глубина каждой скважины. Отклонение от проектных значений ведет к неравномерному распределению взрывчатого вещества, образованию «заколов», ухудшению качества дробления руды, увеличению потерь и разубоживания, а также к снижению безопасности ведения горных работ [4, 5].

Традиционные методы маркшейдерского контроля, основанные на использовании реек, болванок и тахеометров обладают рядом существенных недостатков. Среди них – низкая производительность, высокая трудоемкость, ограниченная точность измерений и, что особенно важно, необходимость присутствия персонала в опасных зонах (непосредственно у забоя, в очистных камерах после отпалки). Кроме того, человеческий фактор остается одной из главных причин возникновения погрешностей при замерах [1, 3].

В последние годы в мировой практике горного дела наблюдается активное внедрение технологий лазерного сканирования для решения задач маркшейдерского обеспечения [6, 8]. Мобильное лазерное сканирование (МЛС) позволяет получать высокоточные трехмерные модели горных выработок и расположенных в них устьев скважин, обеспечивая дистанционный контроль параметров бурения с высокой степенью детализации и безопасности [3, 7].

Настоящая статья посвящена обоснованию и описанию методики применения мобильного лазерного сканирования для контроля соответствия паспорту бурения веерных скважин.

Методы и материалы

На подавляющем большинстве горнодобывающих предприятий, осуществляющих подземную добычу полезных ископаемых с применением веерного бурения, контроль соответствия фактических параметров скважин проектным данным (паспорту бурения) до настоящего времени осуществляется с использованием высокоточных, но исключительно трудоемких инструментальных методов.

В качестве основного средства измерений выступают инварные рейки, применяемые в комплекте со специальными болванками, которые изготавливаются индивидуально под каждый типоразмер бурения – наиболее распространенными являются диаметры 64, 105 и 152 миллиметров. Данный метод долгое время считался эталонным и продолжает применяться на многих предприятиях благодаря своей метрологической обоснованности и возможности получения точных результатов при идеальных условиях измерений [3, 4].

Суть методики заключается в следующем. Специальная болванка, геометрия которой точно соответствует диаметру пробуренной скважины, устанавливается непосредственно в устье таким образом, чтобы ее продольная ось максимально точно совпадала с осью самой скважины (рис. 1).

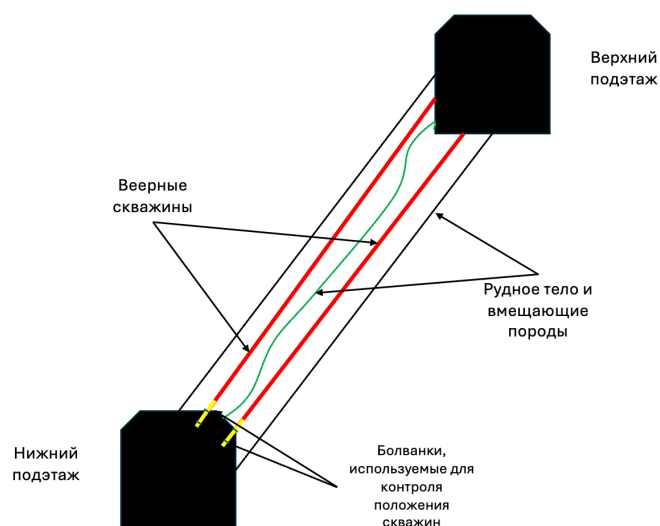


Рис. 1. Контроль положения скважин с использованием болванок
(вид в разрезе)

После фиксации болванки маркшейдер с помощью инварной рейки выполняет отсчёты по двум точкам, расположенным на расстоянии около двух метров – как правило, на глубинах 0,5 и 2,5 м от устья либо по меткам на корпусе болванки. В ходе камеральной обработки по разности координат этих точек вычисляются фактические значения азимута и угла наклона скважины.

Однако практика применения выявила ряд ограничений, существенно снижающих достоверность контроля и способных приводить к ошибочным выводам при оценке качества бурения. Эти ограничения обусловлены преимущественно условиями применения метода и влиянием человеческого фактора [2, 5].

Процесс измерений полностью ручной и включает три последовательные операции, каждая из которых вносит вероятностную погрешность. Первая операция – установка болванки. Оператор ориентирует её по оси скважины, однако в реальных условиях устье редко сохраняет правильную геометрию. Разрушения, сколы и деформации приводят к люфту и перекосу болванки, в результате чего измеряется её положение, а не фактическая траектория скважины [3, 6].

Вторая операция – снятие отсчётов – требует высокой точности наведения. Ошибки считывания, фиксации и записи данных являются типичными проявлениями человеческого фактора. Даже небольшие отклонения могут накапливаться до значений, сопоставимых с допустимыми, при этом оперативный контроль таких ошибок затруднён [1, 5].

Существенное влияние оказывает состояние устья скважины. В условиях горных работ его разрушение является типичным явлением, что исключает гарантированную соосность болванки с осью скважины. В ряде случаев установка болванки становится невозможной, и контроль либо не выполняется, либо проводится с допущениями [4, 6].

К недостаткам метода относится и низкая производительность. Полный цикл измерения одной скважины занимает 1–2 минут, а контроль веера из 10–15

скважин – до 30–40 минут, что приводит к простоям бурового оборудования и снижению эффективности работ [3, 7].

Отдельно следует отметить вопросы безопасности. Метод требует присутствия маркшейдера вблизи забоя, что при неустойчивой кровле и риске обрушений создаёт угрозу для персонала. При этом полностью исключить нахождение человека в опасной зоне невозможно [2, 6].

Результаты контроля представлены в виде табличных данных, что ограничивает возможности их анализа. Такой формат не позволяет визуализировать пространственное положение скважин, выявлять систематические отклонения и интегрировать данные в цифровые модели горных работ [5, 8].

Таким образом, традиционный метод, несмотря на метрологическую обоснованность, обладает рядом существенных недостатков: зависимость от состояния устья и квалификации оператора, низкая производительность, риски для безопасности и отсутствие цифровой визуализации. Это обуславливает необходимость внедрения альтернативных технологий, одной из которых является мобильное лазерное сканирование.

В последние годы данная технология получает широкое распространение. Она основана на измерении расстояния по времени прохождения лазерного импульса (Time-of-Flight) либо по фазовому методу. В результате формируется облако точек – трёхмерная модель пространства с высокой плотностью и детализацией [2, 8].

Наиболее распространёнными являются мобильные SLAM-сканеры (например, GeoSLAM, SLAM 100), позволяющие выполнять съёмку без GNSS. Технология основана на одновременном определении траектории и построении карты, что обеспечивает корректность модели без установки опорных знаков [3, 8].

Такие системы отличаются компактностью (до 3,6 кг), высокой скоростью (до 300 тыс. точек/с) и возможностью работы в сложных условиях. Достижимая точность составляет около 30 мм, что достаточно для задач маркшейдерского контроля [3, 8].

Для специализированных задач применяются системы типа C-ALS, позволяющие сканировать труднодоступные полости через скважины. Они обеспечивают обзор 360° на дальности до 150 м и оснащены инерциальными системами, что повышает достоверность данных [6, 7].

Методика контроля включает три этапа. Первый – полевые работы. Сканирование выполняется после бурения и до зарядки скважин. При использовании SLAM достаточно одного прохода вдоль забоя, что занимает 3–5 минут. Устья скважин фиксируются без установки маркеров за счёт геометрии поверхности [7, 8].

Второй этап – камеральная обработка. Облако точек загружается в специализированное ПО (GeoSLAM Hub, CloudCompare, Leica Cyclone и др.), где выполняются фильтрация шумов, привязка к системе координат и сегментация данных [2, 5].

Третий этап – анализ результатов. Координаты устья определяются аппроксимацией окружности, направление скважины – аппроксимацией цилиндра или прямой на участке 0,5–1 м. Глубина может определяться прямым сканированием, инструментальными измерениями или косвенно по геометрии выработки [6, 7].

После получения фактических параметров каждой скважины производится их сравнение с проектными значениями, указанными в паспорте бурения (рис. 2, 3).

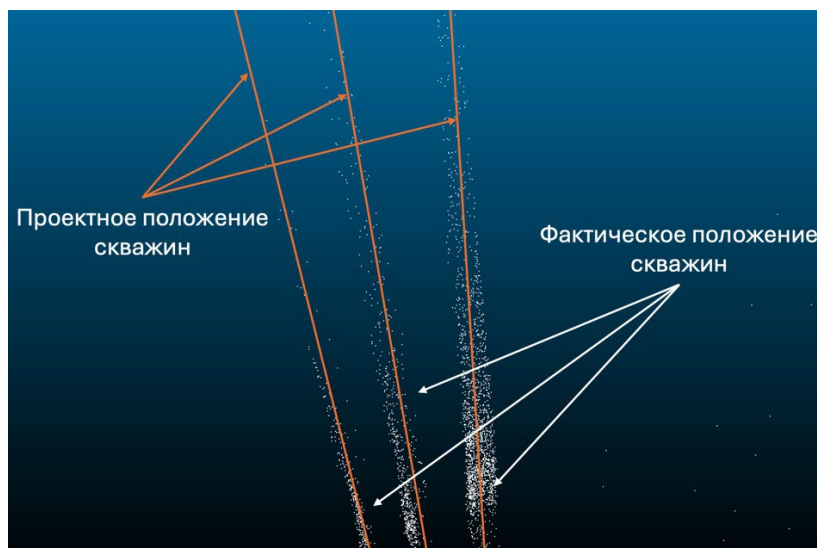


Рис. 2. Сравнение фактического положения скважин с проектными
(вид в разрезе)

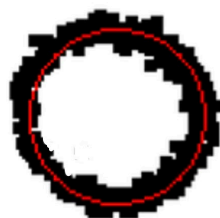


Рис. 3. Сравнение фактического положения скважин с проектными
(вид в разрезе)

Результаты сравнения визуализируются в виде трехмерной модели веера скважин, где каждая скважина отображается в своем фактическом положении, а отклонения от проекта могут быть выделены цветовой индикацией – например, зеленым цветом для скважин, пробуренных в пределах допуска, и красным для скважин с превышающими допуск отклонениями. Такая визуализация позволяет не только выявить отдельные скважины, пробуренные с нарушением, но и оценить систематический характер отклонений, что может указывать на смещение буровой установки, ошибки в ее ориентации или особенности горно- геологических условий участка [4, 5].

Результаты

В части повышения точности контроля следует отметить, что лазерное сканирование обеспечивает определение координат устьев скважин и их пространственной ориентации с уровнем погрешности, который для стационарных сканеров составляет единицы миллиметров, а для мобильных SLAM-систем – до 30 миллиметров. При этом важно подчеркнуть, что в отличие от традиционного метода, где погрешность складывается из множества факторов (состояние устья, точность установки болванки, квалификация оператора), при лазерном сканировании основные

источники погрешности носят инструментальный характер и хорошо изучены. Кроме того, технология позволяет получить не точечные значения параметров скважины в двух сечениях, а непрерывную информацию о ее траектории на начальном участке, что дает более полное представление о фактическом положении скважины. По данным компании «Уралмеханобр», применение лазерного сканирования при маркшейдерском обеспечении горных работ позволяет выявлять расхождения между проектной и фактической геометрией горных выработок и бортов карьеров, исчисляемые сотнями тысяч кубических метров [5, 8].

Исключение человеческого фактора является одним из наиболее значимых преимуществ технологии. При использовании мобильного лазерного сканирования процесс сбора данных в значительной степени автоматизирован: оператор выполняет лишь перемещение сканера по выработке, а все измерения производятся прибором без субъективного вмешательства. Последующая обработка данных также выполняется с использованием стандартизированных алгоритмов в специализированном программном обеспечении, что исключает ошибки, связанные с неверным считыванием показаний, неправильной записью результатов или субъективной оценкой состояния устья скважины. Как отмечается в исследовании, посвященном автоматизации процессов измерения, внедрение лазерных систем повышает точность замеров на порядки и одновременно снижает когнитивную нагрузку на персонал, позволяя ему сосредоточиться на контроле процесса, а не на выполнении рутинных измерительных операций [1, 2]. Сравнительные характеристики двух методов контроля соответствия бурению веерных скважин приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение МЛС и классического метода

Фактор	МЛС (GeoSlam Zeb- Horizon)	Классический метод (Тахеометр и болванка)
Время измерений	От 3 до 5 минут	От 15 до 30 минут, в зависимости от количества скважин
Точность	2-3 см, в зависимости от привязки к ПВО участка	Зависит от правильности установки болванки, имеется риск получения недостоверных данных
Определяемые параметры	Азимут, угол наклона, координаты, в редких случаях – глубину скважины	Азимут, угол наклона, координаты
Безопасность	Минимальное время нахождения в забое	Необходимость присутствия в забое более длительное время
Эффективность	Быстрый сбор информации и быстрая обработка данных	Медленный сбор информации и быстрая обработка
Практическая значимость	Сокращение получения недостоверных данных, повышение качества контроля положения скважин	Риск ошибок, менее безопасно

Заключение

Применение мобильного лазерного сканирования для контроля соответствия паспорту бурения веерных скважин представляет собой высокоэффективную и тех-

нологически обоснованную альтернативу традиционным методам маркшейдерского контроля. Как показано в настоящей статье, традиционные методы, основанные на использовании инварных реек и специальных болванок, при всей их метрологической обоснованности обладают рядом неустраняемых недостатков, к числу которых относятся высокая зависимость результатов от состояния устьевой части скважин и квалификации оператора, низкая производительность, опасность для персонала и отсутствие цифрового документирования результатов.

Технология мобильного лазерного сканирования позволяет преодолеть указанные ограничения за счет автоматизации процесса сбора данных, исключения влияния человеческого фактора, возможности дистанционного проведения измерений из безопасной зоны и получения трехмерных моделей, пригодных для дальнейшего анализа и интеграции в цифровую среду предприятия. Опыт внедрения на горнодобывающих предприятиях подтверждает, что применение МЛС обеспечивает повышение точности и достоверности контроля, кардинальное сокращение времени контрольных операций (с нескольких часов до 10–15 минут на забой) и создание полноценной цифровой документации о состоянии буровых работ.

Учитывая устойчивый тренд на автоматизацию горных работ и цифровизацию производственных процессов в российской и мировой горной промышленности, внедрение мобильного лазерного сканирования в практику контроля буровзрывных работ следует рассматривать не как единичное техническое усовершенствование, а как один из ключевых элементов комплексной цифровой трансформации маркшейдерского обеспечения. Дальнейшее развитие технологии будет связано с интеграцией данных лазерного сканирования в системы искусственного интеллекта для прогнозирования качества бурения, автоматической корректировки параметров буровых станков в реальном времени и создания цифровых двойников горных работ, обеспечивающих сквозной контроль и управление на всех этапах производственного цикла [2, 5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машкова А.М. Разработка лазерной сканирующей системы для автоматизации процесса замера длины скважин // *Neftegaz.RU*. – 2021. – № 12.
2. Goldstein D.M., Aldrich C., O'Connor L. Applications of Machine Learning in Measuring While Drilling for Geoscience // *Machine Learning and Knowledge Extraction*. – 2024. – Vol. 6, No. 2. – P. 1343–1360.
3. Мобильные сканеры GeoSlam нашли себе место под землей // *Союз горных инженеров*. – 2025. – URL: <https://www.mining-portal.ru> (дата обращения: 21.03.2026).
4. Русолово повышает эффективность проведения буровзрывных работ // *RusLom*. – 2024. – 10 сентября. – URL: <https://ruslom.com/news/2024/09/10/> (дата обращения: 21.03.2026).
5. Гайский ГОК получил новое высокотехнологичное оборудование // *Профиль*. – 2023. – 20 июля. – URL: <https://profile.ru/industry/> (дата обращения: 21.03.2026).
6. C-ALS – лазерный сканер для сканирования скрытых полостей, пустот и выработок // *Prin-SPb*. – URL: <https://prin-spb.ru/c-als/> (дата обращения: 21.03.2026).
7. Carlson C-ALS® – Система Лазерного Сканирования Недоступных Пространств // *Geocomm.kz*. – 2023. – URL: <https://geocomm.kz/c-als> (дата обращения: 21.03.2026).
8. Surveying a Quarry with a SLAM 100 Scanner: A Practical Experience // *TOPODRONE*. – 2025. – URL: <https://www.topodrone.com/blog/slam-100-quarry-survey> (дата обращения: 21.03.2026).

© П. Е. Калиакпаров, 2026

В. С. Крапивин^{1✉}, П. П. Мурзинцев², Л. Е. Сердаков¹

Геодезическое сопровождение монтажа Сибирского Кольцевого Источника Фотонов в тоннеле ускорительного комплекса

¹ Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ),
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: mr.kellivard@gmail.com

Аннотация. В статье описываются этапы монтажа с геодезическими методами контроля накопителя Сибирского Кольцевого Источника Фотонов. Приведены основные допуски на взаимное положение магнитных элементов. Для проведения монтажа и разметки в тоннеле накопителя была создана геодезическая сеть, выполнена связь с инжекционным комплексом. Перед установкой на специальные подставки – гирдеры, каждый магнит прошёл этап нахождения магнитной оси и привязки её к геознакам на теле магнита. После монтажа магнитов на гирдеры и прохождения контроля гирдеры перевозились в кольцо накопителя на специальные опоры и были соединены вакуумными камерами. Представлены основные результаты установки в проектное положение элементов на гирдеры и установка их в проектное положение в кольце накопителя СКИФ.

Ключевые слова: Ускорители частиц, высокоточные геодезические работы, лазерный трекер

V. S. Krapivin^{1✉}, P. P. Murzintsev², L. E. Serdakov¹

Geodetic Support for the Installation of the Siberian Circular Photon Source in the Accelerator Complex Tunnel

¹ Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT),
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: mr.kellivard@gmail.com

Abstract. The article describes the installation stages employing geodetic control methods for the storage ring of the Siberian Circular Photon Source. The main tolerances for the mutual positioning of the magnetic elements are presented. For the installation and alignment inside the storage ring tunnel, a geodetic network was established and linked to the injection complex. Prior to being mounted on special supports — girders — each magnet underwent a procedure to determine its magnetic axis and to reference it to geodetic marks on the magnet body. After the magnets were installed on the girders and inspected, the girders were transported to the storage ring and placed onto dedicated supports, where they were connected by vacuum chambers. The main results of positioning the elements on the girders to their design locations and installing them in their design positions within the SKIF storage ring are presented.

Keywords: Particle accelerators, high-precision geodetic works, laser tracker

Введение

Основное предназначение накопителя СКИФ – генерация синхротронного излучения. Релятивистские электроны, полученные в инжекционном комплексе и доставленные через транспортный канал в кольцо накопителя, поворачивают в магнитном поле и, испытывая поперечное ускорение, излучают синхротронное излучение (СИ) по направлению движения. Обладая уникальными характеристиками, синхротронное излучение широко используется для исследований в самых различных областях науки и техники: биологии, химии, физике, материаловедении, катализе, геологии и т.д.

Важными характеристиками источника СИ для пользователей являются яркость и когерентность излучения. Одним из факторов, позволяющим достичь этих качеств, являются требования на взаимное положение элементов магнитной структуры. В таблице 1 приведено сравнение параметров действующих источников СИ в мире и принимаемого в эксплуатацию СКИФ.

Таблица 1 – Таблица 1, основные параметры действующих установок

	СЦСИ(В3/В4)	КИСИ	BESSY-II	Diamond	СКИФ
Е (ГэВ)	2/5.5	2.5	1.7	3	3
П (м)	74/366	121	240	561	476
ε_x (нм)	300/30	90	4	3	0.075
Год	~1970/79	~1990	1998	2007	2024
Поколение	1	2	3	3	4
Станций	19	16	46	34	>30
Страна	РФ	РФ	Ger	UK	РФ

Периметр кольца накопителя составляет 476 м с 16-ю прямолинейными промежутками длиной 6 м. Магнитная структура состоит из 16 идентичных ускоряющих секций – суперпериодов, рисунок 1.

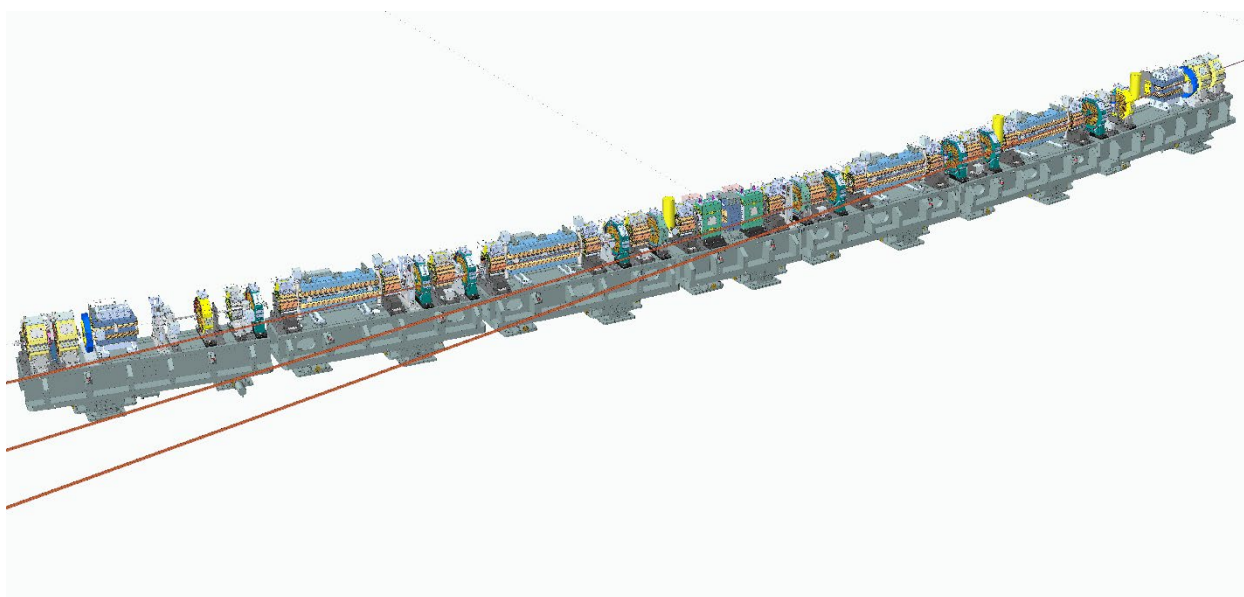


Рис. 1. Суперпериод накопителя СКИФ с выводами синхротронного излучения

В одном суперпериоде – 7 гирдеров с последовательно установленным набором электромагнитов оптической структуры ускорителя для фокусировки пучка частиц и вывода СИ, рис 2.

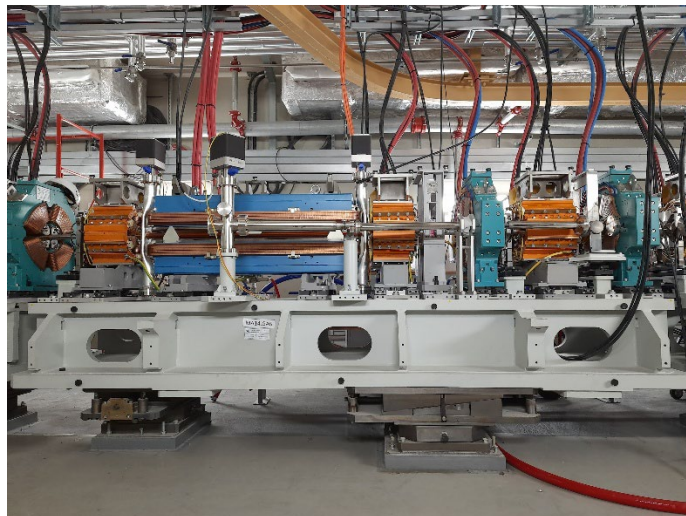


Рис. 2. Гирдер с выводом СИ

Количество элементов накопителя – 738 и количество гирдеров – 112.

Методы и материалы

Для выполнения работ использовались лазерные трекеры Leica AT403, API Radian Pro и тахеометр Leica TS 06 [1].

Каждый электромагнит проходит этап паспортизации, при котором, в числе прочего, определяется положение магнитной оси с фиксацией координат на геошпиль под сферический отражатель.

Моделирование движения частиц в накопителе СКИФ с учетом неточностей выставки, а также изучение и использование опыта современных источников СИ приводит к требованиям на точность выставки магнитных элементов СКИФ, приведенных в Таблице 2.

Таблица 2 – Требования на выставку магнитных элементов основного кольца.

	$\Delta Y, \mu\text{м}$	$\Delta Z, \mu\text{м}$	$\Delta X, \mu\text{м}$
Гирдеры	80	80	150
Элементы на гирдере	30	30	150

Значения в таблице даны в смысле среднеквадратичного отклонения от проектного положения. X – продольная координата, Y – поперечная, Z – высотная. [2]

Для выполнения условий, удовлетворяющих требованиям точности взаимного расположения элементов и сроков выполнения работ, применялся модульный принцип монтажа гирдеров, при котором электромагниты с вакуумными ка-

мерами предварительно собирались и позже перевозились в тоннель накопителя в сборе.

Сборка гирдеров происходила в отдельном здании. В помещении было организовано 4 сборочных линии по 5 гирдеров каждая, где происходил монтаж элементов на гирдеры. При установке электромагнитов использовались шаблоны для предварительной выставки, с помощью которых можно было двигать элементы в плане. Для приведения в проектное положение по высоте каждый элемент имел опоры с возможностью юстировки, рис 3.



Рис. 3. Вставка элементов с помощью шаблонов

Затем выполнялась съёмка гирдера с элементами с 4 стоянок, для проверки положения относительно проекта. [3,4]

Следом шло снятие верхней части с магнитов для установки камеры, обратная сборка с проверкой сохранения положения посредством съёмки с 4 станций. рис 4.



Рис. 4. Гирдер с установленной вакуумной камерой

Завершающим этапом шла финальная съёмка с 4 станций для получения паспорта координат гирдера, для загрузки в рабочий файл для монтажа накопителя. Повторная съёмка выполнялась для проверки однозначности сборки элементов после разборки. Результаты измерений и соответствие на точность выставки представлены в графиках 1, 2 (рис. 5).

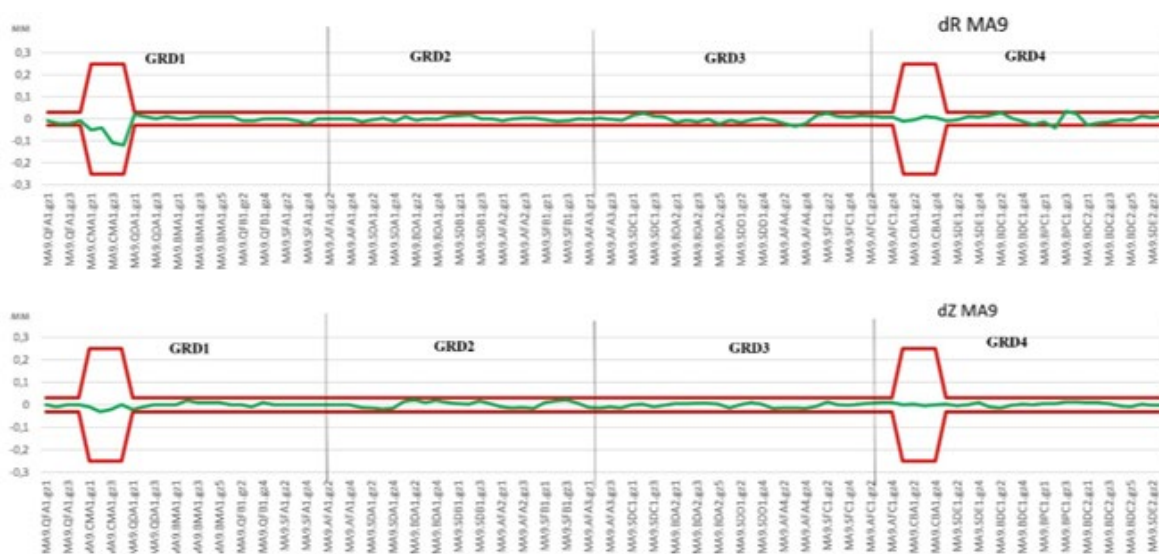


Рис. 5. Графики 1,2 результатов измерений и соответствие на точность выставки на примере первых четырёх гирдеров арки № 9

Опорная геодезическая сеть состоит из 368 знаков, расположенных на внутренней и внешних стенах тоннеля, рис 6. [5]



Рис. 6. Геознак сети с уголковым отражателем

Связь между транспортным каналом и тоннелем накопителя выполнялась через отверстие для вакуумной камеры и специальное окно, рис 7.



Рис. 7. Съёмка для связи сетей инъекционного комплекса и кольца накопителя

В условиях сжатых сроков реализации этапов проекта работы всех групп в тоннеле накопителя выполнялись параллельно. Прекращение других работ при выполнении геодезических задач было невозможно. Для объективной оценки стабильности сети, была применена схема измерения цикла, при которой обеспечивалось четырёхкратное перекрытие каждого знака, рис 8. [6]

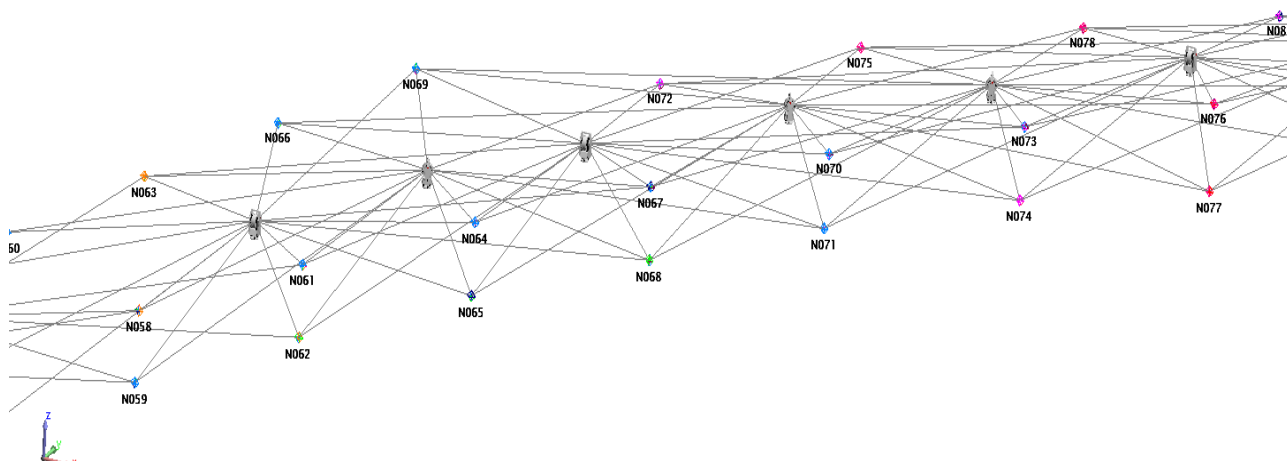


Рис. 8. Фрагмент схемы измерения сети с 4х-кратным перекрытием каждого знака

Для оценки достоверности уравнивания сети таким способом было выполнено сгущение сети в инжекторе до уличных ворот и из тоннеля накопителя в пользовательский зал до уличных ворот. В таблице 2 даны результаты засечки тахеометром на знаки у ворот инжектора и накопителя, принятые за исходные. На рис. 9 изображены места стоянки прибора (STN1, STN2), при выполнении измерений на пункты (T9, T10, D4, D5, N1, N2).

Таблица 2 – Результаты засечки тахеометром Leica TS 06 на знаки сгущенной сети

Имя пункта	X	Y	mXY	H	mH
пункты ПВО					
D4	48,4401	-21,9428		0,8662	
D5	48,3590	-21,9486		-0,2170	
N1	-26,0010	32,6190		0,9060	
N2	-26,0030	32,6000		-0,7300	
STN1	76,7162	58,2575	0,00084	3,0146	0,00123
STN2	75,2623	58,5509	0,00077	3,0064	0,00125
T9	95,6599	72,8485		3,4974	
T10	95,6616	72,8570		5,1900	

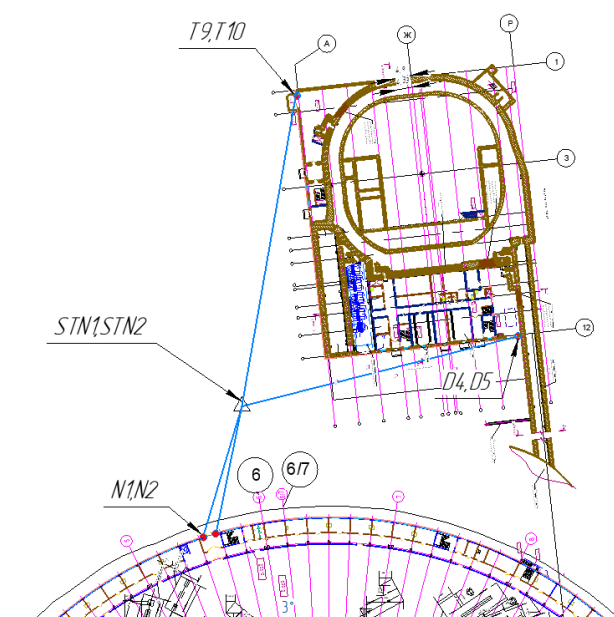


Рис. 9. Место стоянки тахеометра при выполнении съёмки (STN1, STN2)

Перед началом сборки арки в тоннеле накопителя была выполнена разметка проекции орбиты пучка на пол и расположения опор гирдеров. Следующим этапом была установка пластин под опоры гирдеров и приведение их к проектному уровню, установка опор на эти пластины и установка гирдеров на опоры. После чего был начат монтаж гирдеров и выставка их в проектное положение со стыковкой вакуумных камер, рис 10.



Рис. 10. Монтаж гирдеров с вакуумными камерами

Результаты

Монтаж гирдеров и сборка вакуумной камеры во всех арках завершена, идёт монтаж прямолинейных участков и выводов СИ. Положения гирдеров после сборки показаны в графиках 3,4 (рис. 11).



Рис. 11. Графики 3,4 положение гирдеров после сборки вакуумной камеры на примере первых 4 гирдеров 9 арки.

Можно обратить внимание на то, что положение гирдеров и отдельных элементов находится за допуском. Это связано тем, что для монтажа вакуумной камеры допуски на выставку ниже и выставка гирдеров проходила в течение 5 месяцев с последнего цикла измерения сети.

Обсуждение

Дальнейшим этапом монтажа оборудования комплекса последует работа в исследовательских площадках в пользовательском зале, для чего в нём требуется заложить опорную сеть и выполнить её связь с остальной сетью комплекса.

Заключение

После завершения сборки элементов накопителя будет выполнен очередной цикл измерений сети тоннеля накопителя и уравнивание результатов. На основании этих измерений будет выполнена финальная выставка гирдеров и отдельных элементов.

Благодарности

Выражается благодарность за финансовую поддержку исследования в рамках Национального проекта «Наука и университеты» Министерству науки и высшего образования РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буренков Д.Б., Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Пупков Ю.А., Сердаков Л.Е. Геодезическое обеспечение создания бустера для NSLS-II // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 3-6.
2. Пупков Ю.А., Протопопов И.Я., Скринский А.Н. Система допусков на установку магнитов ускорителей на большие энергии // Геодезические работы при монтаже и эксплуатации технологического оборудования : материалы научн. -техн. конф. – Новосибирск, 1978. –С. 99-103.
3. Сердаков Л.Е., Буренков Д.Б., Мурзинцев П.П., Полянский А.В. О выборе местоположения станций лазерного трекера для установки технологического оборудования // Геодезия и картография. – 2019. – №11. – С. 22-25.
4. Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Буренков Д.Б., Сердаков Л.Е. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга ускорительно – накопительных комплексов. – Монография. Новосибирск, 2021.
5. Сердаков Л.Е., Мартин Д., Мурзинцев П.П. Геодезическое сопровождение на этапах сборки и эксплуатации модернизируемого источника синхротронного излучения ESRF // Геодезия и картография. – 2018. – №11. – С. 2-8.
6. Медведская Т.М. Исследование точности опорных сетей для геодезического мониторинга крупногабаритного промышленного оборудования // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, №2. – С. 56-65.

© В. С. Крапивин, П. П. Мурзинцев, Л. Е. Сердаков, 2026

Э. Н. Кучменко¹✉

Маркшейдерский контроль деформаций при закладке выработанного пространства

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kuchmenko.elya@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены вопросы маркшейдерского контроля деформаций при закладке выработанного пространства. Показано, что применение закладочных технологий снижает интенсивность сдвижений массива горных пород, но не исключает развитие остаточных деформаций, обусловленных перераспределением напряжений, деформируемостью закладочного массива и оседанием поверхности. Целью работы является разработка расчетно-методического подхода к предварительному обоснованию параметров маркшейдерского мониторинга. В основу положена упрощенная функция влияния, позволяющая построить прогнозный профиль оседания для условного горнотехнического объекта. Для оценки применимости методов измерений использован критерий обнаружимости смещений. На расчетном примере определены максимальная осадка, параметр зоны влияния, рекомендуемый шаг наблюдательной сети и периодичность контрольных циклов. Показана целесообразность использования нивелирования как основного метода, а наземного лазерного сканирования — как вспомогательного средства пространственного анализа деформаций.

Ключевые слова: маркшейдерский контроль, деформации, закладка, оседание, мониторинг, сдвижение

*E. N. Kuchmenko*¹✉

Mine surveying control of deformations during backfilling of mined-out space

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kuchmenko.elya@gmail.com

Abstract. The paper deals with mine surveying control of deformations during backfilling of mined-out space. Backfilling reduces the intensity of rock mass movements, but does not eliminate residual deformations caused by stress redistribution, deformability of the backfill mass and surface subsidence. The purpose of the study is to develop a calculation-based methodological approach to the preliminary substantiation of mine surveying monitoring parameters. A simplified influence function is used to build a predicted subsidence profile for a conditional mining object. A displacement detectability criterion is applied to assess the suitability of measurement methods. The calculation example determines the maximum subsidence, the influence-zone parameter, the recommended spacing of observation points and the frequency of control cycles. The results confirm the expediency of geometric leveling as the main method and terrestrial laser scanning as an auxiliary tool for spatial deformation analysis.

Keywords: mine surveying control, deformation, backfilling, subsidence, monitoring, displacement

Введение

Закладка выработанного пространства является одним из основных способов управления напряженно-деформированным состоянием массива горных пород при подземной разработке месторождений. Ее применение позволяет повысить устойчивость вмещающих пород, снизить вероятность развития опасных сдвижений и ограничить воздействие горных работ на земную поверхность [1, 2, 3].

В современных условиях закладка рассматривается не только как средство повышения безопасности, но и как элемент рационального освоения недр и снижения экологических последствий подземной добычи [4, 5]. Вместе с тем она не исключает развитие остаточных деформаций, обусловленных перераспределением напряжений и деформируемостью закладочного массива [6, 7, 8].

Нормативно-методические документы указывают на необходимость систематического наблюдения за сдвижением горных пород, деформациями земной поверхности и подрабатываемых объектов [9]. В практике маркшейдерского контроля применяются геометрическое нивелирование, тахеометрические измерения, спутниковые методы, лазерное сканирование и дистанционный мониторинг [10, 11, 12, 13, 19].

Целью работы является разработка расчетно-методического подхода к обоснованию параметров маркшейдерского контроля деформаций при закладке выработанного пространства на основе прогнозной оценки оседания и критерия обнаружимости смещений. Научная новизна работы заключается в формализации выбора параметров маркшейдерского контроля через связь прогнозной величины оседания, точности измерений, шага наблюдательной сети и периодичности наблюдений.

Методы и материалы

Исследование выполнено как расчетно-методическое. Его результатом является не натурная оценка конкретного рудника, а подход, применимый при предварительном проектировании системы наблюдений. Для демонстрации методики принят условный горнотехнический объект с параметрами, характерными для подземной разработки с закладкой выработанного пространства. Принятые величины не относятся к конкретному месторождению и используются только для расчетной апробации подхода.

Для предварительной оценки распределения оседания использована упрощенная функция влияния. Такой подход соответствует общему принципу методов прогноза сдвижений, в которых итоговое оседание поверхности рассматривается как функция расстояния от зоны подземной выемки [14, 15, 16, 20]. В данной работе функция применяется не для детального промышленного прогноза, а для получения расчетного профиля, необходимого при выборе параметров наблюдений.

Таблица 1 – Исходные параметры расчетной модели

Параметр	Обозначение	Значение	Примечание
Глубина разработки	H	300 м	условно принятое значение
Мощность вынимаемого тела	m	2,5 м	условно принятое значение
Тип закладки	-	твердеющая	расчетное допущение
Коэффициент остаточного оседания	q	0,10	принят для демонстрации методики
Коэффициент распространения влияния	a	0,25	принят расчетно
Погрешность нивелирования	σ_H	2 мм	для оценки обнаружимости
Погрешность тахеометрии	σ_T	5 мм	для оценки обнаружимости
Погрешность GNSS	σ_{GNSS}	≥ 10 мм	зависит от режима наблюдений

Расчет распределения оседания по профильной линии задан выражением:

$$s(x) = S_{max} \cdot e^{-\frac{x^2}{2i^2}}, \quad (1)$$

где $s(x)$ – оседание в точке профиля, м; S_{max} – максимальная осадка, м;
 x – расстояние от центра зоны влияния, м; i – параметр распространения влияния, м.

Максимальная осадка определена по выражению:

$$S_{max} = q \cdot m, \quad (2)$$

где q – коэффициент остаточного оседания; m – мощность вынимаемого тела, м.

Параметр распространения влияния задан в виде:

$$i = a \cdot H, \quad (3)$$

где a – коэффициент распространения влияния; H – глубина разработки, м.

При принятых исходных данных получаем:

$$S_{\max} = 0,10 \cdot 2,5 = 0,25 \text{ м}, \quad (4)$$

$$i = 0,25 \cdot 300 = 75 \text{ м}.$$

Таким образом, для принятой расчетной модели максимальная прогнозная осадка составляет 0,25 м, а параметр зоны влияния - 75 м.

Для оценки возможности надежного выявления деформаций введен инженерный критерий обнаружимости:

$$K_d = \frac{\Delta s}{\sigma}, \quad (5)$$

где K_d – коэффициент обнаружимости; Δs – ожидаемое смещение между циклами наблюдений, мм; σ – средняя квадратическая погрешность метода, мм.

В работе принято условие надежного обнаружения:

$$K_d \geq 3.$$

Такое условие означает, что ожидаемое смещение должно как минимум в три раза превышать погрешность измерений.

Для обоснования периодичности наблюдений использована зависимость между приростом оседания и скоростью деформационного процесса:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t, \quad (6)$$

где v – скорость оседания, мм/сутки; Δt – интервал между циклами наблюдений, сутки.

Из условия $K_d \geq 3$ следует:

$$\Delta t \geq \frac{3\sigma}{v}. \quad (7)$$

Данное выражение позволяет назначать периодичность не произвольно, а с учетом того, какое смещение успевает накопиться за интервал между измерениями.

Результаты

По расчетной функции влияния построен прогнозный профиль оседания для принятого условного объекта. Максимальное значение осадки получено в центре зоны влияния и составляет 250 мм. По мере удаления от центра значение $s(x)$ уменьшается по экспоненциальной зависимости (рис. 1).

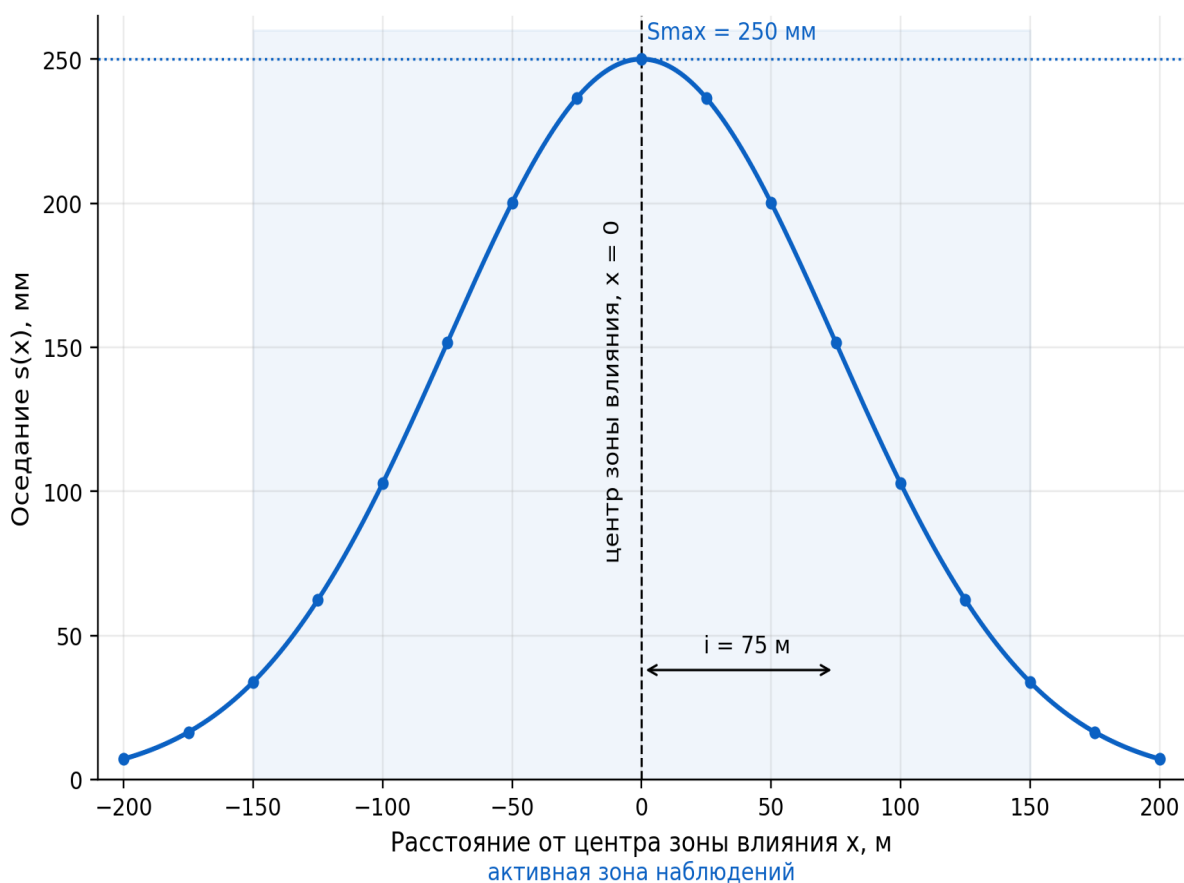


Рис. 1. Расчётный профиль оседания поверхности

Для оценки распределения деформаций рассчитаны значения оседания в характерных точках профильной линии (табл. 2).

Таблица 2 – Расчетные значения оседания по профильной линии

Расстояние от центра x , м	Оседание $s(x)$, м	Оседание, мм
0	0,250	250
25	0,237	237
50	0,200	200
75	0,152	152
100	0,103	103
125	0,062	62
150	0,034	34
175	0,016	16
200	0,007	7

Анализ расчетного профиля показывает, что в пределах примерно 75-150 м от центра зоны влияния изменение оседания остается достаточно выраженным, поэтому именно эта область является наиболее информативной для размещения профильных наблюдательных пунктов.

Для выбора методов наблюдений выполнено сопоставление ожидаемых смещений с ориентировочной точностью измерений. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Оценка применимости методов контроля по критерию обнаружимости

Метод	Ориентировочная погрешность σ , мм	Минимально обнаруживаемое смещение при $Kd = 3$, мм	Основная область применения
Геометрическое нивелирование	2	6	вертикальные осадки
Тахеометрические измерения	5	15	пространственные смещения
GNSS	10 и более	30 и более	опорные пункты, крупные смещения

Из табл. 3 следует, что при необходимости фиксации малых вертикальных осадок основным методом должно являться геометрическое нивелирование. Тахеометрические измерения целесообразно применять для определения пространственного положения пунктов и контроля горизонтальной составляющей смещений. GNSS может использоваться для контроля стабильности исходной опорной сети и крупных поверхностных смещений, однако для малых вертикальных деформаций его применение ограничено точностью и условиями приема спутникового сигнала [17, 18].

Для активной стадии деформационного процесса принято расчетное значение скорости оседания $v = 2$ мм/сутки. При использовании нивелирования с $\sigma = 2$ мм минимальный интервал между наблюдениями по условию обнаружимости составит:

$$\Delta t \geq \frac{3 \times 2}{2} = 3 \text{ суток.}$$

Следовательно, при активном развитии деформаций рационально назначать контрольные циклы с интервалом 3-7 суток. После снижения скорости оседания периодичность может быть увеличена до 10-30 суток.

На основании расчетного профиля и критерия обнаружимости предложены следующие параметры наблюдательной сети:

- в центральной и краевой частях зоны влияния шаг профильных пунктов 10-20 м;
- за пределами активной зоны влияния шаг 25-50 м;
- исходные реперы должны размещаться вне предполагаемой зоны сдвига;

- контрольные циклы на активной стадии следует выполнять чаще, чем на стадии затухания деформаций;
- схема наблюдений должна корректироваться по результатам первых циклов измерений.

Предлагаемая последовательность маркшейдерского обеспечения контроля деформаций включает: сбор исходных горнотехнических данных; расчет прогнозной осадки; построение профиля $s(x)$; выбор методов измерений по критерию обнаружимости; назначение шага наблюдательной сети; назначение периодичности контрольных циклов; корректировку сети по фактическим данным наблюдений.

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что при закладке выработанного пространства маркшейдерский контроль должен проектироваться с учетом не только общих рекомендаций, но и расчетной величины ожидаемых деформаций. Если предполагаемое смещение меньше погрешности метода, результаты наблюдений не позволяют уверенно отделить реальное перемещение точки от случайной ошибки измерения.

Предложенный подход не заменяет детальное геомеханическое моделирование и натурные наблюдения, но может применяться на предварительной стадии проектирования маркшейдерской наблюдательной станции. Его преимущество состоит в простоте исходных данных и возможности быстро оценить чувствительность выбранной схемы наблюдений.

Перспективным направлением развития маркшейдерского контроля является применение наземного лазерного сканирования. Данный метод позволяет получать детализированную трехмерную информацию о состоянии деформируемых участков и может использоваться как дополнение к традиционным наблюдениям при мониторинге горных объектов [12]. Для условий рассматриваемой работы наземное лазерное сканирование целесообразно рассматривать как вспомогательный метод уточнения формы мульды сдвижения и пространственного анализа деформаций, тогда как нивелирование сохраняет значение основного метода контроля вертикальных осадок.

Сравнение с опубликованными исследованиями показывает, что закладка действительно является эффективным средством снижения оседаний, однако остаточные деформации сохраняются и требуют контроля [4, 5, 6]. Современные работы также подтверждают целесообразность комплексного применения геодезических методов при мониторинге горных объектов [10, 11, 13, 17].

Заключение

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Закладка выработанного пространства уменьшает интенсивность деформаций массива горных пород, но не исключает необходимость систематического маркшейдерского контроля.

2. Для предварительной оценки оседания может быть использована упрощенная функция влияния, позволяющая построить расчетный профиль сдвижения поверхности.

3. В работе предложен критерий обнаружимости смещений $K_d = \Delta s / \sigma$, позволяющий оценивать пригодность методов наблюдений с учетом ожидаемой величины деформаций и точности измерений.

4. На расчетном примере при $H = 300$ м, $m = 2,5$ м и $q = 0,10$ максимальная прогнозная осадка составила 0,25 м, а параметр зоны влияния - 75 м.

5. Геометрическое нивелирование целесообразно использовать как основной метод контроля вертикальных осадок; тахеометрические измерения - для пространственного контроля; GNSS и наземное лазерное сканирование - как вспомогательные методы для опорной сети, крупных смещений и уточнения пространственной формы деформаций.

6. Для принятой модели рекомендован шаг наблюдательных пунктов 10-20 м в активной зоне и 25-50 м за ее пределами. На активной стадии деформирования периодичность наблюдений может составлять 3-7 суток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кологривко А. А. Маркшейдерское дело. Подземные горные работы : учеб. пособие. - Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2012. - 412 с.
2. Ковалевский В. В. Маркшейдерские работы при подземной разработке месторождений. - М. : Недра, 1985. - 368 с.
3. Справочник маркшейдера / под ред. В. В. Ржевского. - М. : Недра, 1986. - 495 с.
4. Huo W., Zhu J., Zhang P., Li M. Surface Subsidence Prediction Method for Backfill Mining with Super-High-Water Material // Sustainability. - 2023. - Vol. 15, No. 22. - 15791. - DOI: 10.3390/su152215791.
5. Li M., Yan Y., Dai H., Zhang Z. Study on Rock and Surface Subsidence Laws of Super-High Water Material Backfilling and Mining Technology: A Case Study in Hengjian Coal Mine // Sustainability. - 2023. - Vol. 15, No. 11. - 8713. - DOI: 10.3390/su15118713.
6. Li G., Hu Z., Wu S., Wang X. A Case Study on Ground Subsidence and Backfill Deformation in a Mining Area Using Monitoring and Numerical Simulation // Remote Sensing. - 2022. - Vol. 14, No. 18. - 4555. - DOI: 10.3390/rs14184555.
7. Cao W., Wang X., Li P., Zhang D., Sun C., Qin D. Wide Strip Backfill Mining for Surface Subsidence Control and Its Application in Critical Mining Conditions // Sustainability. - 2018. - Vol. 10, No. 3. - 700. - DOI: 10.3390/su10030700.
8. Brady B. H. G., Brown E. T. Rock Mechanics for Underground Mining. - 3rd ed. - Dordrecht : Springer, 2004. - 628 p.
9. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. - М. : Недра, 1988. - 112 с.
10. Kaltchev I., Tzenkov T., Stoyanov A. Geodetic monitoring of displacements and deformations in mining regions // Proceedings of the Joint International Symposium on Deformation Monitoring. - Athens, 2019. - P. 1-8.
11. Chrzanowski A., Szostak-Chrzanowski A. Deformation monitoring surveys - old problems and new solutions // Reports on Geodesy. - 2009. - No. 2(87). - P. 45-52.
12. Gikas V. Three-dimensional laser scanning for geometry documentation and construction management of highway tunnels during excavation // Sensors. - 2012. - Vol. 12, No. 8. - P. 11249-11270. - DOI: 10.3390/s120811249.

13. Zhu M., Zhang H., Liu Y., Chen X. High-precision monitoring and prediction of mining area subsidence using SBAS-InSAR and deep learning // *Scientific Reports*. - 2024. - Vol. 14. - 28987.
14. Whittaker B. N., Reddish D. J. *Subsidence: Occurrence, Prediction and Control*. - Amsterdam : Elsevier, 1989. - 528 p.
15. Peng S. S. *Surface Subsidence Engineering*. - Littleton : Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1992. - 161 p.
16. Luo Y. An influence function method based subsidence prediction program for longwall mining operations in inclined coal seams // *Mining Science and Technology*. - 2009. - Vol. 19, No. 5. - P. 592-598. - DOI: 10.1016/S1674-5264(09)60110-1.
17. Nguyen H. V., Pham K. C., Nguyen D. B., Nguyen L. Q. Application of the GNSS Method in the Monitoring of Mine Surface Displacement: A Systematic Review // *Inzynieria Mineralna*. - 2024. - Vol. 2, No. 1. - P. 96-104.
18. Ding X. L., Chen Y. Q., Zhu J. J. Monitoring of ground deformation using GPS // *Engineering Geology*. - 2001. - Vol. 61, No. 2-3. - P. 119-129.
19. Setan H., Singh R. Deformation Analysis of a Geodetic Monitoring Network // *Geomatica*. - 2001. - Vol. 55, No. 3. - P. 333-346.
20. Saeidi A., Deck O., Verdel T. An improved methodology for applying the influence function for subsidence hazard prediction // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. - 2021. - Vol. 138. - 104623.

© Э. Н. Кучменко, 2026

*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

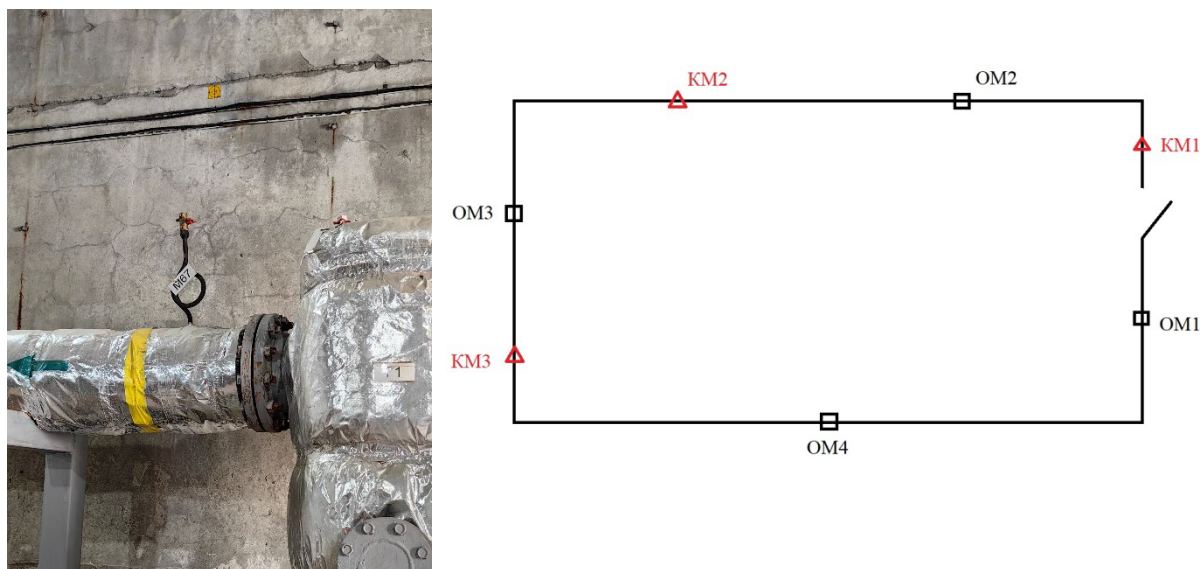
Объектом исследования является центральный тепловой пункт площадью 285 м², расположенный в отдельно стоящем здании.

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

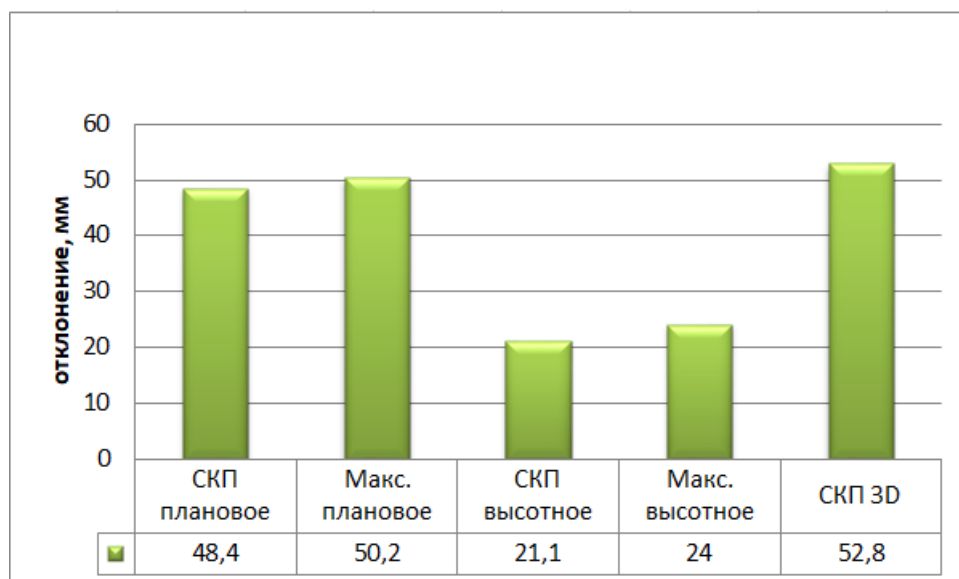
Для оценки пригодности полученной модели для решения различных инженерных задач выполнялось сравнение достигнутой точности с нормативными требованиями [2].

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*

Е. В. Минченко¹✉

Совершенствование методики создания цифрового инженерно-топографического плана с интеграцией 3DGS-модели

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

Аннотация. Традиционные цифровые топографические планы обеспечивают геометрическую точность, но не дают фотореалистичного трёхмерного контекста, необходимого для визуального контроля оборудования. В статье предлагается методика создания инженерно-топографического плана с интеграцией 3DGS-модели через механизм гиперссылки для организации доступа к VR/AR-визуализации. Выполнена SLAM-съёмка центрального теплового пункта, построена 3DGS-модель помещения и оборудования, которая размещена в облачном хранилище с генерацией постоянной URL-ссылки. В среде nanoCAD создана гиперссылка на полученный URL. При клике по объекту на топографическом плане осуществляется переход к VR/AR-просмотру модели. Разработанная блок-схема описывает процесс от полевых работ до визуализации. Погрешность взаимного положения плана и модели по контрольным точкам составляет 2–5 см, что является достаточным для задач визуального контроля. Предложенный подход не заменяет классический топографический план, а дополняет его функционалом быстрого иммерсионного доступа к трёхмерному состоянию объекта.

Ключевые слова: 3D Gaussian Splatting, гиперссылка, nanoCAD, топографический план, VR/AR, центральный тепловой пункт

Е. В. Minchenko¹✉

Improvement of the Methodology for Creating a Digital Engineering Topographic Plan with Integration of a 3DGS Model

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

Abstract. Traditional digital topographic plans provide geometric accuracy but lack the photorealistic three-dimensional context necessary for visual inspection of equipment. The paper proposes a method for creating an engineering topographic plan integrating a 3DGS model via a hyperlink mechanism to provide access to VR/AR visualization. SLAM surveying of a central heating point was performed, and a 3DGS model of the premises and equipment was constructed, which is then placed in cloud storage with the generation of a permanent URL link. A hyperlink to the obtained URL is created in the nanoCAD environment. Clicking on an object in the topographic plan triggers a VR/AR view of the model. The developed flowchart describes the process from field work to visualization. The discrepancy in the relative position of the plan and the model at check points is 2–5 cm, which is sufficient for visual inspection tasks. The proposed approach does not replace the classical topographic plan but complements it with the functionality of rapid immersive access to the three-dimensional state of the facility.

Keywords: 3D Gaussian Splatting, hyperlink, nanoCAD, topographic plan, VR/AR, central heating point

Введение

Промплощадки промышленных предприятий, включая территории тепловых электростанций, представляют собой сложные и ответственные инженерные комплексы [1].

Важным элементом инженерной инфраструктуры промплощадок являются тепловые пункты – центральные (ЦТП) и индивидуальные (ИТП).

Обследования тепловых пунктов и инженерных коммуникаций традиционно выполняется с использованием тахеометров и ручных обмеров, что сопряжено со значительными временными затратами и ограниченной детализацией получаемых данных [1, 2]. Традиционные методы дают плоский чертеж, а эксплуатирующей организации нужна объёмная сцена с возможностью «заглянуть» за трубы.

Проблема заключается в разрыве между точным 2D-планом и фотореалистичным 3D-контекстом, необходимым для визуального контроля. Современные требования строительства и эксплуатации коммуникаций требуют быстрого визуального доступа к трёхмерному состоянию объекта [3] непосредственно с топографического плана.

Цель данной статьи – разработать и апробировать методику создания гиперссылки на топографическом плане в nanoCAD для доступа к 3DGS-модели ЦТП в среде виртуальной и дополненной реальности.

Задачи: выполнить съёмку ЦТП с использованием мобильного лазерного сканера (SLAM); построить 3DGS-модель помещения и оборудования; разработать порядок создания гиперссылки в nanoCAD; апробировать метод на примере ЦТП.

Методы и материалы

В качестве объекта исследования выбран центральный тепловой пункт. Площадь внутреннего помещения составляет 285 кв. м., высота помещения 4,5 м.

Выбор объекта обусловлен наличием высокой плотности инженерных систем: трубопроводы подачи и обратки теплосети, ГВС, ХВС, а также большое количество технологического оборудования: пластинчатые теплообменники, насосы, грязевики, фильтры, регулирующие клапаны, узлы учета тепла, запорная и предохранительная арматура, контрольно-измерительные приборы, контроллеры, щиты управления, электрические шкафы и кабельные трассы (рис. 1).



Рис. 1. Внутреннее пространство ЦТП

Съёмка объекта выполнялась с использованием мобильного лазерного сканера XGRIDS LixelKity K1, работающего по технологии SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Прибор позволяет выполнять скоростную съёмку в условиях ограниченного пространства без необходимости установки штатива, что критически важно для стеснённых условий помещения ЦТП.

Обработка данных со сканера выполнялась в специализированном программном обеспечении LixelStudio. Построение фотореалистичной 3DGS-модели выполнено в ПО Lixel Cyber Color (LCC).

Технология 3D Gaussian Splatting (3DGS) позволяет получить фотореалистичную модель, пригодную для визуального контроля. После обработки результатов измерений в программном обеспечении 3DGS-модель необходимо экспортировать в один из поддерживаемых форматов (.splat, .ply, .glb). Далее файл модели размещается в облачном хранилище с генерацией постоянной URL-ссылки, либо для работы без доступа к сети интернет модель размещается на локальном диске компьютера. На топографическом плане создаётся маркер для гиперссылки. При клике по объекту на плане открывается VR/AR-просмотр модели в установленном плеере. Для просмотра через VR-шлем можно использовать модуль Leica Truveiw VR.

Результаты

На рис. 2 представлена блок-схема процесса создания гиперссылки на топографическом плане для доступа к 3DGS-модели в среде VR/AR.



Рис. 2. Блок-схема процесса создания гиперссылки на топографическом плане для доступа к 3DGS-модели в среде VR/AR

При клике на метку на топографическом плане в nanoCAD открывается VR-сцена с 3DGS-моделью, позволяющая осмотреть помещение с любого ракурса. Применение данной технологии позволяет получить ракурсы, физически недоступные при реальном обходе [4-5].

Реализовано два способа просмотра 3DGS-модели (рис. 3):

1. На компьютере пользователя в веб-браузере или настольном VR-плеере по гиперссылке открывается 3DGS-модель. Пользователь управляет камерой с помощью мыши и клавиатуры, осматривая помещение с любого ракурса.
2. При клике по гиперссылке на топографическом плане запускается VR-приложение, совместимое с подключённым шлемом. Пользователь оказывается внутри 3DGS-модели ЦТП в масштабе 1:1.

Технические ограничения. Размер файла 3DGS-модели не должен превышать 500 МБ для комфортной загрузки по сети, но при просмотре модели с внутренней памяти компьютера это ограничение снимается. Требуется стабильный доступ к URL. На компьютере пользователя должен быть установлен плеер, поддерживающий форматы: .splat, .ply или .glb.

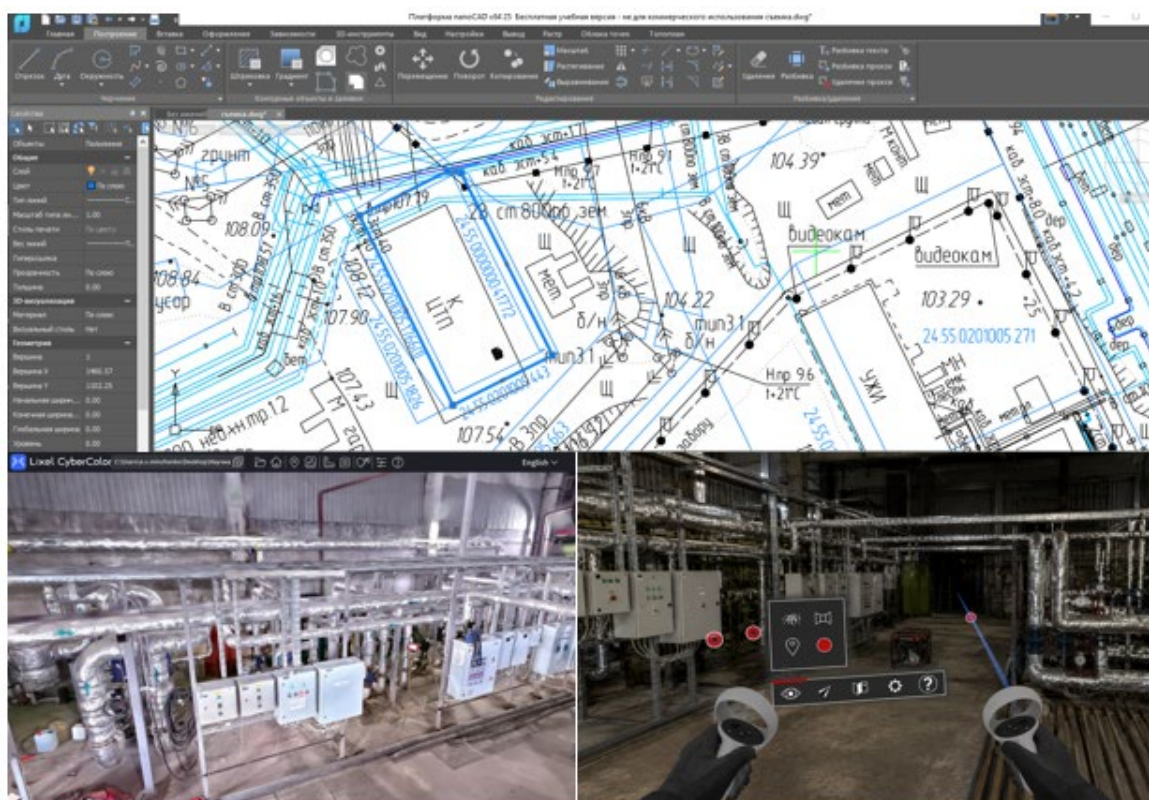


Рис. 3. Пример просмотра 3DGS-модели ЦТП через плеер и VR-шлем

Обсуждения

Гиперссылка позволяет сохранить лёгкость CAD-файла (встраивание 3D-модели сделало бы его непомерно большим). Кроме того, обновление 3DGS-

модели происходит независимо от топографического плана – достаточно заменить файл в облачном хранилище, либо в паке на компьютере.

Предложенная методика не заменяет классический топографический план, а дополняет его новым функционалом – быстрым визуальным доступом к трёхмерному состоянию объекта [6].

Плюсы методики:

- быстрая обработка и рендеринг в реальном времени;
- фотореалистичное воспроизведение;
- повышение безопасности (минимизация доступа работников в опасные зоны).

Недостатки:

- требуется большое количество изображений (100–300) [6];
- ограниченная поддержка динамических сцен;
- зависимость от условий освещения;
- требуется время для обучения оператора.

В отличие от гиперссылок на фото [7], предложенный метод использует 3DGS-модель, что дает эффект полного погружения.

Вывод

Разработанный метод гиперссылки позволяет оставить документооборот без изменений, но получить VR/AR-функционал для визуального контроля состояния оборудования ЦТП, включая полноценный просмотр через VR-шлем с эффектом присутствия. Метод апробирован на реальном объекте (центральный тепловой пункт). Практическая ценность метода заключается в возможности дистанционного осмотра коммуникаций, локализации дефектов, обучения персонала в виртуальной среде без остановки технологического процесса.

Перспективами дальнейших исследований являются автоматическая генерация гиперссылок по атрибутивным данным из ГИС, интеграция с системами обнаружения аномалий на основе ИИ.

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.: Стандартинформ, 2018. - 84 с.
3. Новоселов Д. Б. Совместное использование наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования при обеспечении строительства и эксплуатации гражданских и промышленных сооружений // Интерэкспо ГЕО Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. 112–118. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-112-118.

4. 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.
5. Urban R. Accuracy Assessment of the GeoSLAM ZEB Horizon Handheld SLAM Scanner in Underground Environments / R. Urban, M. Štroner, P. Bláha // Journal of Applied Geodesy. - 2024. - Vol. 18, Iss. 2. - P. 211–223.
6. ГОСТ Р 51872-2019. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. - М.: Стандартиформ, 2019. - 38 с.
7. Минченко, Е. В. Структурирование топографической информации для целей информационного моделирования при инженерно-геодезических изысканиях / Е. В. Минченко, М. В. Мурзинцева // 11. Интерэкспо ГЕОСибирь. XIX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сборник материалов в 8 т. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Т. 1. – 87–93. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-87-93.

© Е. В. Минченко 2026

М. В. Мурзинцева¹✉

Применение модуля искусственного интеллекта для автоматического анализа территории изысканий

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

Аннотация. В статье рассматривается опыт применения модуля искусственного интеллекта, встроенного в отечественную геоинформационную платформу Geocad System Enterprise Edition, для автоматического анализа местности на этапе предпроектных исследований. Модуль обеспечивает распознавание объектов инженерной инфраструктуры (трубопроводы, линии электропередачи, дороги, здания) по данным ортофотопланов и 3D-панорам. Описан алгоритм работы модуля, включающий выбор модели ИИ, задание области анализа, автоматическое детектирование, верификацию результатов и вычисление геометрических параметров (длина, углы поворота). Показано, что применение модуля позволяет автоматизировать процесс инвентаризации существующей инфраструктуры, сократить время на составление программы изысканий и сформировать структурированную пространственную базу данных для цифрового двойника территории. Апробация выполнена на реальных данных аэрофотосъемки г. Новосибирска.

Ключевые слова: искусственный интеллект, распознавание объектов, инженерные коммуникации, ортофотопланы

M. V. Murzintseva¹✉

Application of the artificial intelligence module for automated site analysis during engineering surveys

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

Abstract. The article discusses the experience of applying an artificial intelligence module integrated into the domestic geoinformation platform Geocad System Enterprise Edition for automatic terrain analysis at the pre-design stage. The module recognizes engineering infrastructure objects (pipelines, power lines, roads, buildings) based on orthophotomaps and 3D panoramas. The paper describes the module's operation algorithm, including the selection of an AI model, definition of the analysis area, automatic detection, result verification, and calculation of geometric parameters (length, turning angles). It is shown that the module enables automation of the existing infrastructure inventory process, reduces the time required for developing a survey program, and forms a structured spatial database for a digital twin of the territory. The approbation was carried out on real aerial survey data of Novosibirsk.

Keywords: artificial intelligence, object recognition, engineering utilities, orthophotomaps

Введение

В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) активно внедряются в сферу геоинформатики и инженерных изысканий [1, 2]. Примене-

ние нейросетевых моделей для анализа пространственных данных позволяет автоматизировать трудоемкие процессы дешифрирования объектов, что особенно актуально при работе с крупноформатными ортофотопланами и облаками точек [3, 4].

В более широком контексте концепция «умного города» (Smart City) предполагает использование ИИ и аналитики больших данных как одного из ключевых инструментов принятия управленческих решений в территориальном развитии [5]. При этом цифровые двойники и методы ИИ уже находят практическое применение в региональной практике, в частности для мониторинга экзогенных геологических процессов, а также для построения систем экологической и инфраструктурной безопасности [6, 7].

Одним из перспективных направлений является использование ИИ для инвентаризации существующей инженерной инфраструктуры. Традиционный подход, основанный на ручной векторизации объектов по аэроснимкам или полевым обмерам, требует значительных временных затрат и подвержен влиянию человеческого фактора.

В настоящей работе представлен опыт применения модуля искусственного интеллекта, встроенного в отечественную геоинформационную платформу Geocad System Enterprise Edition (GSEE) [8], для автоматического анализа местности с целью оптимизации трассировки и планирования инженерно-геодезических изысканий.

Цель работы – апробация модуля ИИ платформы GSEE для автоматического распознавания объектов инженерной инфраструктуры по данным ортофотопланов, оценка его эффективности и возможностей для автоматизации процессов инвентаризации территорий.

Методика работы модуля искусственного интеллекта

Модуль искусственного интеллекта платформы GSEE обеспечивает обработку двух основных типов пространственных данных:

- цифровых ортофотопланов, получаемых в результате аэрофотосъемки.
- 3D-панорам, формируемых по данным наземной съемки.

Принцип работы модуля основан на применении обученных нейросетевых моделей, которые выполняют автоматическое распознавание и классификацию объектов.

Важной особенностью модуля является высокая степень автоматизации рабочего процесса. Участие пользователя сводится преимущественно к этапу настройки параметров обработки - выбору типа объектов для поиска, определению источников данных и указанию зон интереса. Все последующие операции, к которым относится загрузка и предварительная обработка растровых материалов, процесс детектирования, а также формирование итоговых отчетов – выполняются системой в автоматическом режиме.

Модуль обеспечивает детектирование широкого спектра объектов, представляющих интерес для задач градостроительства, инженерно-геодезических

изысканий и мониторинга территорий [9, 10]. В число основных распознаваемых категорий входят:

- объекты инженерной инфраструктуры (трубопроводы различного назначения, линии электропередачи);
- элементы дорожной сети (автомобильные дороги, тротуары, мостовые сооружения);
- объекты капитального строительства;
- объекты древесно-кустарниковой растительности;
- водные объекты.

Результаты апробации

Апробация модуля проводилась на территории г. Новосибирска. Исходные данными материалами были ортофотопланы масштаба 1:500, полученные с беспилотного летательного аппарата. Основная задача состояла в автоматическом выявлении надземных трубопроводов для последующего анализа инфраструктурных ограничений при планировании новых трасс (рис.1).

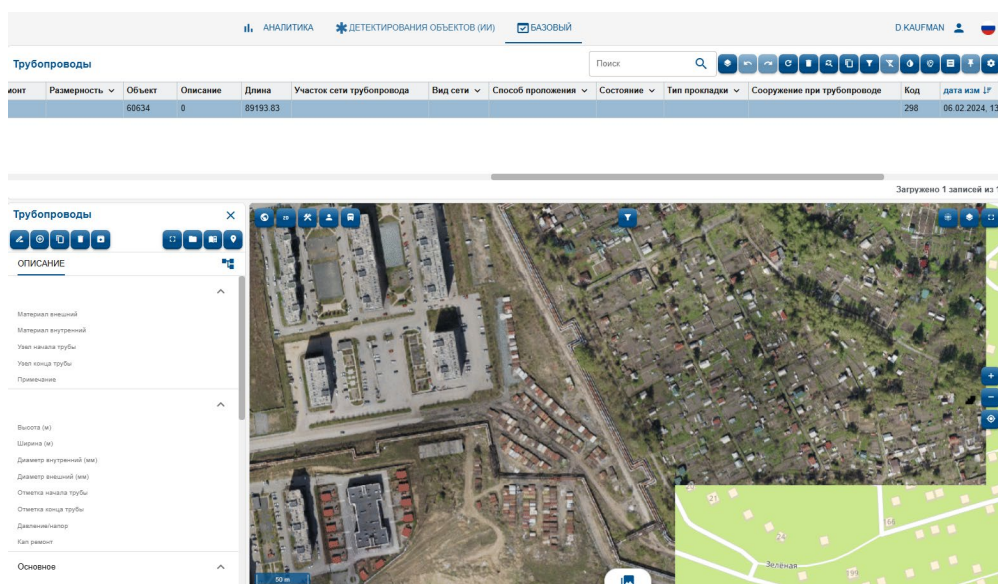


Рис. 1. Исходный ортофотоплан участка местности, используемый для анализа

В ходе эксперимента была выбрана модель ИИ «Инженерные коммуникации», а в качестве источника данных указаны ортофотопланы исследуемого участка. Полигон области обработки формировался с учётом границ территории анализа.

Полученные результаты.

1. *Автоматическое детектирование.* Модуль идентифицировал все видимые надземные трубопроводы в заданной зоне. Выявленные объекты визуализированы на карте контурной обводкой красного цвета, что обеспечивает их наглядное представление на фоне исходного ортофотоплана.

2. *Вычисление геометрических параметров.* Для каждого трубопровода автоматически рассчитаны и занесены в атрибутивную таблицу:

- уникальный идентификатор объекта;
- длина каждого сегмента трубопровода;
- координаты характерных точек (начало, конец, узлы);
- углы поворота трассы в местах изменения направления.

3. *Верификация и редактирование:* алгоритм выполняет первичную обработку и векторизацию. Оператор исправляет ошибки, допущенные при первичной векторизации, уточняет геометрию и принимает окончательное решение по спорным вопросам. Комплекс этих действий позволяет получить достоверные данные для последующей работы.

4. *Экспорт и использование:* на этом этапе данные выгружаются в векторный слой (рис. 2). Построенная схема размещения инженерных коммуникаций позволяет анализировать инфраструктуру территории, выявлять сгущение коммуникаций и нарушение охранных зон.

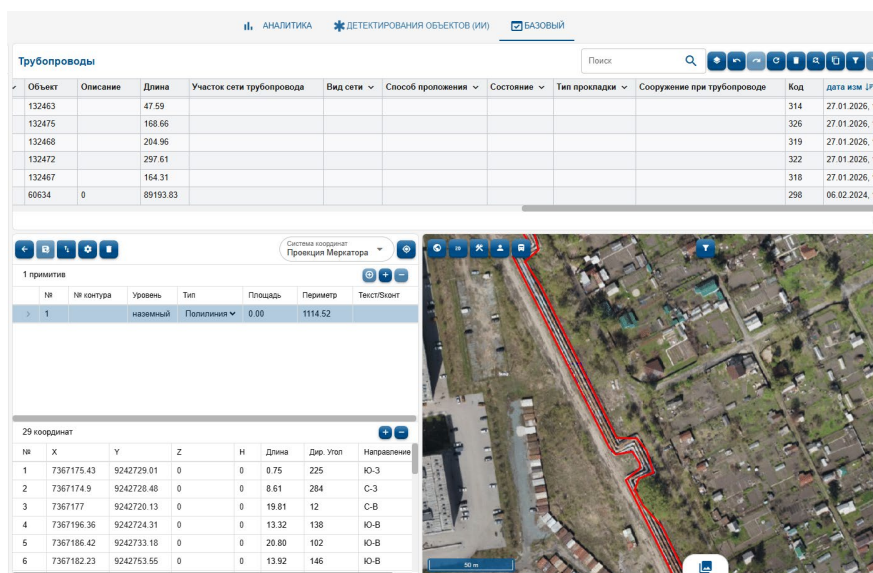


Рис. 2. Результат детектирования с таблицей атрибутов

Апробация модуля искусственного интеллекта, интегрированного в среду GSEE, подтвердила его работоспособность и эффективность для практического применения.

Главное достоинство применения модуля – это высокая скорость обработки крупных массивов ортофотопланов. Это востребовано на территориях с высокой плотностью инженерной инфраструктурой. В автоматическом режиме модуль вычисляет количественные характеристики объектов: протяжённость линейных сооружений, координаты и углы поворота трассы. Этот процесс позволяет значительно сократить время камеральных работ.

Еще одним преимуществом является снижение субъективности специалиста при первичном дешифрировании. Нейросеть работает по единым правилам – это обеспечивает единообразие и повторяемость результатов. В то же время автоматическое детектирование сопровождается визуальным контролем и корректировкой специалиста камеральной группы.

Применение модуля даёт возможность оптимизировать программу изысканий. Участки с высокой плотностью инфраструктуры, выделенные автоматически, получают приоритет при планировании полевых работ (трассоискание, шурфование).

Заключение

Проведенное исследование показало, что модуль ИИ платформы GSEE является эффективным инструментом для предпроектного анализа. Он позволяет выполнять следующие операции:

- распознавать объекты инженерной инфраструктуры по данным ортофото-планов;
- вычислять геометрические параметры коммуникаций;
- формировать структурированную пространственную базу данных.

Использование модуля способствует сокращению сроков подготовки программы инженерно-геодезических изысканий и исключению значительной части рутинных операций. Разработанное решение может рассматриваться как элемент цифровой трансформации отрасли. Полученные результаты применимы для наполнения цифрового двойника территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Choudhary S., Saurav S., Gidde P., Saini R., Singh S. LPC-Det: Attention-based lightweight object detector for power line component detection in UAV images // Computers & Electrical Engineering. 2025. Volume 126
2. Ouyang P., Pi Y., Zhang P., Zhang K. Research on Geospatial Object Recognition Algorithm in Power Transmission and Transformation Engineering Based on FIsseg-YOLO // Springer Conference Paper. 2024. DOI: 10.1007/978-981-96-0313-8_14.
3. 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.
4. Попов С.Е., Потапов В.П., Замараев Р.Ю. Программная реализация алгоритма автоматического обнаружения линейных объектов и их свойств на отвалах открытых горных работ // Программирование. 2024. №1. С. 40-52. DOI: 10.31857/S0132347424010044.
5. Зорин Г.Е. Технологии «Умный город» и их применение в управлении территорией // Экономические науки. – 2021. – № 1 (43). – С. 45–50.
6. Мальцев А.А., Петров Ю.В. 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. Мамаражабова Б. А., Шингисов А. У. Исследование современного применения искусственного интеллекта в экологическом мониторинге безопасности деятельности человека // *Universum: технические науки*. 2024. № 4-1(121). С. 20-22.
8. 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).
9. 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.
10. Bellou E., Pisica I., Banitsas K. Aerial Inspection of High-Voltage Power Lines Using YOLOv8 Real-Time Object Detector // *Energies*. – 2024. – Vol. 17, No. 11. – P. 2535. – DOI 10.3390/en17112535.
11. Shin G., Xie W., Albanie S. All you need are a few pixels: semantic segmentation with PixelPick/ *Proceedings of the International Conference on Computer Vision (ICCV)*. 2021. pp. 1687-1697.
12. Choudhary S., Saurav S., Gidde P., Saini R., Singh S. LPC-Det: Attention-based lightweight object detector for power line component detection in UAV images // *Computers and Electrical Engineering*. – 2025. – Vol. 126. – DOI 10.1016/j.compeleceng.2025.110476.

© М. В. Мурзинцева, 2026

*М. В. Мурзинцева*¹✉

Методика формирования цифрового двойника на основе данных инженерно-геодезических изысканий

¹ 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*¹✉

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

¹ 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.

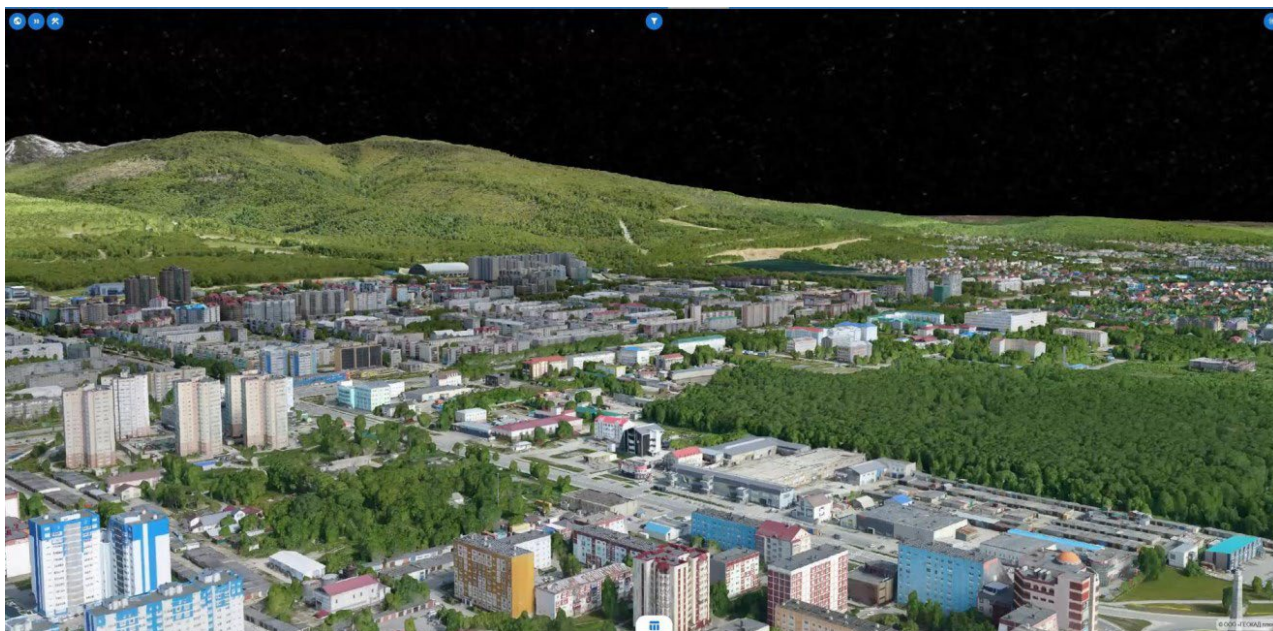


Рис. 1. Цифровой двойник градостроительной отрасли Сахалинской области

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

М. В. Мурзинцева¹✉, Н. М. Рябова¹

Факторы, определяющие методику инженерно-геодезических изысканий при трассировании инженерных сетей

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

Аннотация. В статье рассмотрены факторы, влияющие на трассирование и методику выполнения инженерно-геодезических работ для линейных сооружений и территорий с развитой сетью инженерных коммуникаций. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности проектирования инженерных сетей в условиях высокой плотности застройки и многообразия существующей инфраструктуры. Все факторы, оказывающие влияние на процесс трассирования, структурированы в три основные группы: техногенные, нормативно-правовые и экологические. Для каждой группы факторов приведены характерные примеры и особенности их проявления при инженерно-геодезических изысканиях. На основе выполненного анализа сформулированы рекомендации по совершенствованию методики изысканий, включающие создание трёхмерной цифровой модели местности, интеграцию правовых слоёв в единую информационную среду, а также применение комплексного подхода к учёту экологических ограничений. Реализация предложенных рекомендаций позволяет повысить точность, информативность проектируемой трассы и минимизировать техногенные, нормативно-правовые и экологические риски при выборе оптимального проектного решения.

Ключевые слова: инженерно-геодезические изыскания, трассирование, техногенные факторы, правовые ограничения, экологические факторы

M. V. Murzintseva¹✉, N. M. Ryabova¹

Factors influencing the methodology of engineering and geodetic surveys for engineering network routing

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

Abstract. The article considers the factors influencing the routing and methodology of engineering and geodetic surveys for linear structures and territories with a developed network of engineering communications. The relevance of the study is due to the need to improve the efficiency of engineering network design in conditions of high building density and diversity of existing infrastructure. All factors influencing the routing process are structured into three main groups: technogenic, regulatory and environmental. For each group of factors, characteristic examples and features of their manifestation during engineering and geodetic surveys are given. Based on the analysis performed, recommendations are formulated for improving the survey methodology, including the creation of a three-dimensional digital terrain model, the integration of legal layers into a single information environment, as well as the application of an integrated approach to environmental constraints. The implementation of the proposed recommendations makes it possible to increase the accuracy and information content of the designed route and minimize technogenic, regulatory and environmental risks when choosing the optimal design solution.

Keywords: engineering and geodetic surveys, routing, technogenic factors, regulatory constraints, environmental factors

Введение

В настоящее время инженерные изыскания являются одним из важнейших этапов проектирования инженерных коммуникаций, на основании которых осуществляется проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация инженерных сетей различного типа: надземных, наземных и подземных [1]. В связи с активными темпами роста городов и промышленных территорий возникает необходимость в строительстве, реконструкции и капитальном ремонте инженерных коммуникаций для обеспечения инженерно-технической инфраструктуры [2].

Одной из основных задач при проектировании инженерных сетей является определение оптимального коридора для их прокладки. Основная сложность заключается в необходимости анализировать целый ряд факторов, влияющих на трассирование и методику выполнения работ [3-5]. Создание цифровой модели местности (ЦММ) по результатам топографической съёмки является основой для дальнейшего проектирования и анализа территории [6].

Рассмотрим основные факторы, оказывающие влияние на процесс трассирования инженерных коммуникаций в условиях городской среды. Эти факторы формируют набор определенных ограничений и требований, которые необходимо учитывать при разработке методики инженерно-геодезических изысканий, так как они напрямую определяют состав работ, выбор технологий и последовательность их выполнения. Все факторы могут быть структурированы в три основные группы: техногенные, нормативно-правовые (градостроительные) и экологические (рис.1).



Рис. 1. Влияние групп факторов на методику изысканий

1. Техногенные факторы. Данная группа является наиболее существенной и непосредственной причиной усложнения проектирования и изысканий в условиях городской и промышленной застройки. Наличие существующих инженерных сетей (водопровод, канализация, теплотрассы, кабельные линии связи, линии электропередачи, газопроводы, нефтепроводы и т.п.), расположенных надземно, наземно или подземно, образует плотную, многоуровневую инфраструктуру. В связи с этим процесс поиска, обследования и точного нанесения этих коммуникаций на топографический план является одной из ключевых и наиболее трудоёмких задач инженерно-геодезических изысканий [7].

Следует отметить, что неточное нанесение существующих сетей ведёт к риску их повреждения при строительстве, и это влечёт за собой аварии, значительные экономические потери и социальные последствия.

Совокупность техногенных факторов делает недостаточным традиционный подход, основанный на двумерных планах. В связи с этим возникает требование к созданию высокоинформативной трёхмерной цифровой модели местности, интегрирующей данные обо всех существующих объектах. Такая методика должна предусматривать применение комплекса технологий для повышения точности и надёжности съёмки с использованием трассопоискового оборудования, лазерного сканирования для фиксации сложных узлов, фотофиксации, а также трёхмерного моделирования с целью визуального анализа пространственных расхождений и пересечений на этапе проектирования.

2. Нормативно-правовые (градостроительные) факторы

Проектирование и изыскания осуществляются в строгом правовом поле, регламентируемом градостроительным, земельным законодательством. Игнорирование этих факторов делает любой проект нереализуемым.

Границы земельных (кадастровых) участков и установленные сервитуты часто являются существенным препятствием при проведении инженерно-геодезических изысканий, так как данные о границах и обременениях являются юридически значимыми и определяют права и ограничения на использование конкретной территории [8, 9]. Поэтому проектируемая трасса не может быть проложена с нарушением этих границ без соответствующего оформления.

Также аналогичные трудности возникают при наличии зон с особыми условиями использования территорий (ЗОУИТ), к которым относятся санитарно-защитные зоны (СЗЗ) промышленных предприятий, водоохранные зоны, охранные зоны инженерных сетей (например, ЛЭП, магистральных газопроводов). Влияние данного фактора заключается в том, что методика выполнения инженерно-геодезических изысканий не может ограничиваться лишь сбором геометрических данных. Она должна включать этап сбора, анализа и интеграции правовой информации в единое информационное поле. Создаваемая цифровая модель местности (ЦММ) должна быть семантически обогащена: на неё необходимо наносить границы всех ЗОУИТ, включая границы объектов культурного наследия (ОКН) [10], а также кадастровые границы. Это позволяет проводить предварительный пространственный анализ на предмет соблюдения ограничений уже на стадии предпроектных работ и исключить заведомо нереализуемые варианты

трассирования. Такая интеграция данных возможна при использовании геоинформационных систем или специализированных интеграционных платформ.

3. Экологические факторы. Данная группа факторов связана с природными условиями территории и требованиями по охране окружающей среды, что отражено в необходимости проведения комплекса инженерных изысканий.

Результаты инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий содержат сведения о геологических условиях территории: составе и свойствах грунтов, уровне грунтовых вод, несущей способности оснований, карстовых процессах, криогенных явлениях (в условиях вечной мерзлоты). Эти данные напрямую влияют на выбор конструкции коммуникации, глубины её заложения, способа прокладки и мероприятий по защите.

В соответствии с требованиями инженерно-экологических изысканий, оценка современного экологического состояния территории [11], прогноз возможного негативного воздействия строительства и разработка природоохранных мероприятий являются обязательной частью проектной документации.

Влияние экологических факторов заключается в том, что методика выполнения инженерно-геодезических изысканий должна разрабатываться с учётом необходимости согласования и интеграции с данными смежных видов изысканий. Пространственные данные, полученные геодезистами (ЦММ, планы), становятся общей координатной основой, на которую «накладываются» геологические разрезы, данные о загрязнении почв и другие экологические характеристики. Такой комплексный подход, реализуемый в единой цифровой среде, позволяет проводить более обоснованный анализ и принимать оптимальные проектные решения, минимизирующие экологические риски.

Заключение

Таким образом, рассмотренные факторы оказывают решающую роль при выполнении инженерно-геодезических работ для трассирования линейных сооружений и территорий с развитой сетью инженерных коммуникаций. Для минимизации влияния этих факторов следует:

- учитывать важность создания высокоинформативной, трёхмерной цифровой модели местности, интегрирующей данные обо всех существующих объектах [12];
- включать этап сбора, анализа и интеграции правовой информации в единое информационное поле в методику выполнения инженерно-геодезических изысканий, а создаваемая ЦММ должна быть семантически обогащена;
- применять комплексный подход к проведению инженерных изысканий, реализуемый в единой цифровой среде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. – Москва: Стандартинформ, 2017.

2. Мурзинцева М.В., Минченко Е.В., Мурзинцев М.Н. Этапы проектирования инженерных коммуникаций в условиях плотной городской застройки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2023. – Т. 1. – С. 96–102.
3. Мартынова Н.Г. Инженерно-геодезические изыскания при строительстве газопровода // International Agricultural Journal. – 2023. – № 2. – С. 554–566.
4. Минченко Е.В., Рябова Н.М. Особенности инженерно-геодезических работ в условиях Крайнего Севера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2025. – Т. 1. – С. 73–80.
5. Павлова А.В., Гладской И.Б., Телятников И.С. Цифровая модель местности региона в применении к проблемам экологического мониторинга // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2024. – Вып. 1. – С. 68–77.
6. Белова Е.А. Создание цифровой модели местности по результатам топографической съемки // Вестник магистратуры. – 2016. – № 11-2(62). – С. 25–27.
7. Минченко Е.В., Мурзинцева М.В. Структурирование топографической информации для целей информационного моделирования при инженерно-геодезических изысканиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2024. – Т. 1. – С. 87–93.
8. Земельный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: федеральный закон от 25.10.2001 № 136-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.01.2021). – Доступ из справ. -правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) [Электронный ресурс]: федеральный закон от 30.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 31.07.2025, с изм. от 25.03.2026) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.08.2025). – Доступ из справ. -правовой системы «КонсультантПлюс».
10. Хлебникова Т.А., Мурзинцева М.В., Минченко Е.В., Мурзинцев М.Н. Методика проведения проектно-изыскательских работ при установлении границ объектов культурного наследия // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 53–59.
11. Новых Е.А., Волошенко И.В., Новых Л.Л. Проблемы инженерно-экологических изысканий: почвенные аспекты // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45, № 2. – С. 246–257.
12. 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. 50–58.

© М. В. Мурзинцева, Н. М. Рябова, 2026

Я. А. Некрестов¹✉

Методика визуального позиционирования для подсчета объемов сыпучих материалов

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Northy123@yandex.ru

Аннотация. Инвентаризация сыпучих материалов, таких как карьерный песок, щебень или шлак разной фракции по результатам геодезических измерений является распространенной геодезической задачей, которая выполняется ежедневно во всех строительных компаниях. Визуальное позиционирование (ВП) является дополнением к режиму RTK и позволяет выполнять съемку гораздо быстрее, чем при использовании традиционных методов, собирая значительно больше полевой информации. Из анализа выполненных экспериментальных измерений установлено, что использование ВП для съемок карьеров и буртов позволит сократить время выполнения полевых измерений с сохранением точности RTK.

Ключевые слова: визуальное позиционирование, RTK, фотограмметрия, геодезия

Y. A. Nekrestov¹✉

Visual positioning method for calculating the volume of bulk materials

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Northy123@yandex.ru

Abstract. Inventory of bulk materials, such as quarry sand, crushed stone or slag of different fractions based on the results of geodetic measurements, is a common geodetic task, which is carried out daily in a variety of construction companies. Visual positioning (VP) is an addition to RTK mode and allows shooting much faster than using traditional methods, collecting incomparably more information. From the analysis of experimental measurements, it is clear that the use of VP for measuring quarries and piles will reduce the lead time field measurements with RTK precision.

Keywords: Visual positioning, RTK, photogrammetry, survey

Введение

Инвентаризация сыпучих материалов, таких как карьерный песок, щебень или шлак разной фракции по результатам геодезических измерений является распространенной геодезической задачей, которая выполняется ежедневно во множестве строительных компаний.

Для подсчета объемов материалов используются такие традиционные методы, как тахеометрическая съемка или съемка с использованием спутникового оборудования в режиме RTK (Real Time Kinematic). При условии, что бурт сформирован в ровный конус (в результате построенная поверхность должна быть максимально приближена к истинному рельефу), а после выборки карьера осталась ровная поверхность стены карьера, возможно выполнить геодезическую съемку традиционными методами достаточно быстро и с необходимой точностью.

Однако, в реалиях производства сформированные бурты встречаются крайне редко, и они имеют сложную форму также, как и сухоройные или намывные карьеры. Выполнить геодезическую съемку подобных объектов так, чтобы в результате построенная поверхность была максимально приближенной к истинному рельефу, часто оказывается очень трудно или невозможно, т.к. ввиду сложной поверхности требуется очень много времени на производство работ, а время выполнения съемки является очень важным производственным фактором.

На результат съемки в режиме РТК может повлиять целый ряд факторов – от ограниченности небосвода до консистенции материала. Например, бурт бурового шлама имеет жидкую консистенцию и верхние точки бурта физически оказываются недоступны. Сухоройные карьеры часто находятся в лесу, и съемка верхней кромки карьера оказывается опасной из-за возможности обрушения так называемых «козырьков», образующихся при выборке, или она может быть невозможной из-за леса, ограничивающего небосвод.

Визуальное позиционирование (ВП) позволяет выполнять съемку с расстояния, без необходимости физического контакта с объектом [1, 2, 3]. Также количество собираемой информации с помощью визуального позиционирования несопоставимо велико по сравнению с традиционными методами, что позволяет выполнять съемку сложных геометрических объектов гораздо быстрее и с большей достоверностью получаемых результатов.

Целью данного исследования является сравнение поверхностей, построенных по данным, полученным из визуального позиционирования и съемки в режиме РТК.

Актуальность исследования обусловлена повышением оперативности и оптимизацией съемочных работ, что является важным производственным аспектом.

Методы и материалы

В качестве координируемого объекта был выбран бурт бурового шлама (рис.1).



Рис. 1. Бурт бурового шлама

Для выполнения экспериментальных измерений использовался ГНСС-приемник EFT M5 RUS [4] для съемки с помощью визуального позиционирования. Для съемки в режиме RTK использовался ГНСС-приемник EFT M4 [5].

Постобработка измерений с помощью визуального позиционирования выполнена в демо-версии ПО Agisoft Metashape [6].

Критериями для сравнения результатов являются время выполнения съемки и положение объекта в пространстве.

Результаты

Съемка бурта шлама с помощью визуального позиционирования выполнена в полном объеме. Однако, ввиду консистенции бурта, в режиме RTK удалось выполнить съемку только части складированного материала. Для сравнения были построены 3D модели поверхности бурта по результатам обеих съемок (рис. 2, 3).

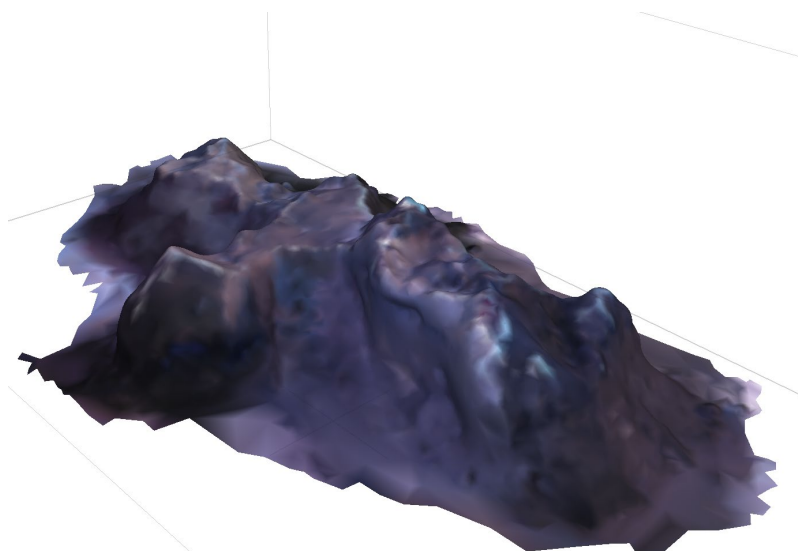


Рис. 2. Поверхность бурта бурового шлама (ВП)

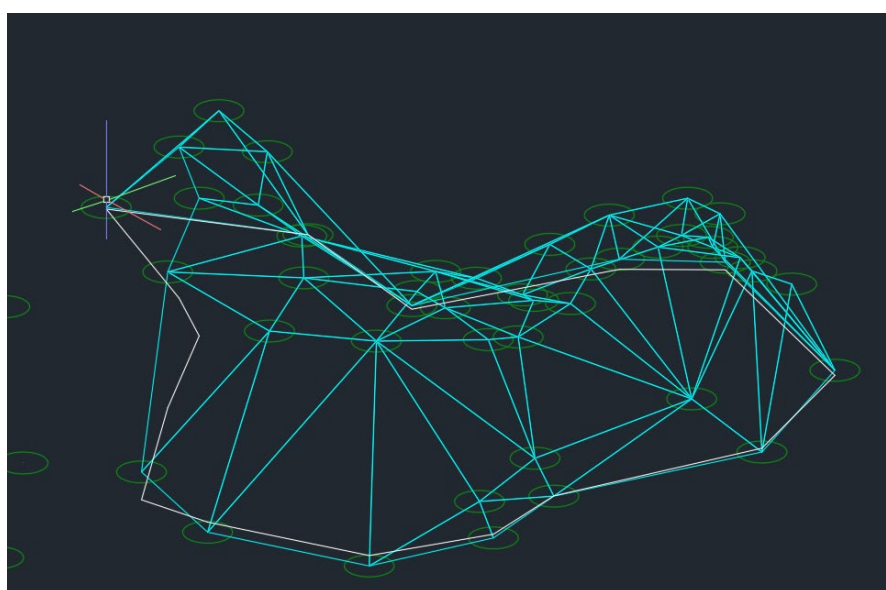


Рис. 3. Поверхность бурта бурового шлама (RTK)

При наложении поверхностей видно, что граница бурта, снятая в RTK, совпадает с поверхностью ВП (рис. 4).

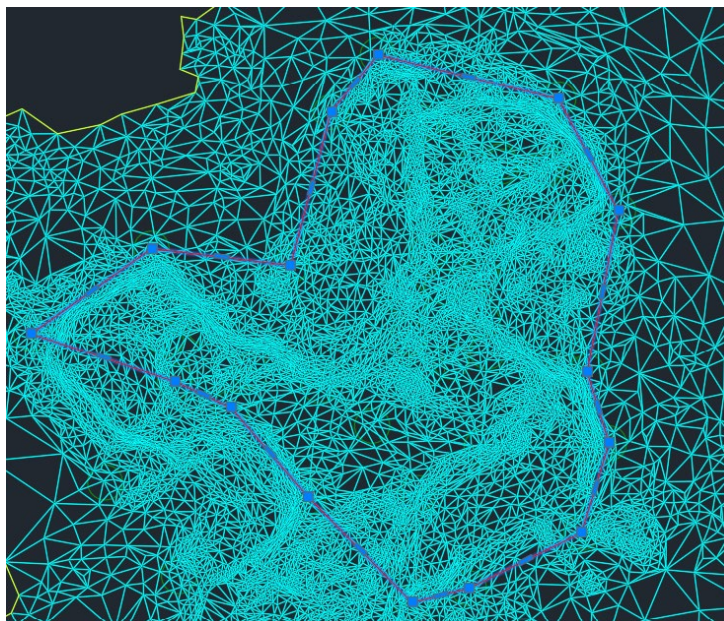


Рис. 4. Наложение поверхностей RTK и ВП

Из анализа результатов следует, что ВП обеспечивает точность положения вычисленных точек аналогичную точности RTK. Однако, за счет количества этих точек детализация поверхности увеличивается.

Съемка в режиме RTK выполнена не в полном объеме и заняла 16 минут. Для выполнения съемки в режиме ВП понадобилось 8 минут, что в 2 раза быстрее.

Заключение

Визуальное позиционирование позволяет гораздо быстрее выполнять съемку, получая при этом больше полевой информации, чем при использовании традиционных методов. За счет большего количества вычисленных точек ВП позволяет строить более детализированные поверхности, которые более приближены к истинной, что позволяет быстрее и точнее производить учет складированных материалов и вычисление объемов работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Некрестов, Я. А. Исследование ГНСС-приемника EFT M5 RUS в режиме визуального позиционирования / Я. А. Некрестов, Е. Г. Гиенко, М. В. Зайцев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 289-298. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-2-289-298. – EDN RXYNEW.
2. Некрестов, Я. А. Исследование влияния изменения расстояния до координируемого объекта на точность визуального позиционирования EFT M5 // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 93-103. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-93-103.

3. Некрестов, Я. А. Исследование влияния освещенности на точность координирования в режиме визуального позиционирования EFT M5 / Я. А. Некрестов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 181-188. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-181-188. – EDN GLBGBM.
4. Приемник EFT M5 RUS. Текст: электронный / URL: https://eftgroup.ru/catalog/gnss_oboruDovanie/gnss_priemniki/priemnik_eft_m5_rus/ (дата обращения : 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.
5. Сайт компании EFT Group. – Текст: электронный / URL: <https://eftgroup.ru/> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступ: общий доступ.
6. Сайт компании Agisoft Metashape. – Текст: электронный / URL: <https://www.agisoft.com> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступ: общий доступ.

© Я. А. Некрестов, 2026

Я. А. Некрестов¹✉

Разработка методики определения точности измерений приборами с визуальным позиционированием

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Northy123@yandex.ru

Аннотация. Контроль точности средств измерений является основополагающим критерием достоверности результатов. Выполнение съемки объекта в режиме визуального позиционирования в несколько приемов позволит эмпирически определить отклонения построенных поверхностей между собой. Разработанная методика может быть использована при поверке приборов с функцией визуального позиционирования, а также при планировании съемочных работ.

Ключевые слова: визуальное позиционирование, RTK, фотограмметрия, геодезия

Y. A. Nekrestov¹✉

Development of methods for determining the accuracy of measurements using visual positioning devices

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Northy123@yandex.ru

Abstract. Accuracy control of measuring instruments is a fundamental criterion for the reliability of results. Surveying an object in visual positioning mode in several steps will allow for empirical determination of the deviations between the constructed surfaces. The developed methodology can be used in the verification of devices with a visual positioning function, as well as in the planning of survey work.

Keywords: Visual positioning, RTK, photogrammetry, survey

Введение

Контроль точности средств измерений является основополагающим критерием достоверности получаемых результатов. Оценка точности по внутренней сходимости является одним из способов верификации точности средств измерений.

Выполнение съемки объекта в режиме визуального позиционирования в несколько приемов позволит эмпирически определить отклонения построенных поверхностей между собой. По результатам эксперимента можно вычислить СКО (среднюю квадратическую ошибку) вычисления координат точек поверхности по стереопарам, что является определяющим критерием удовлетворительности точности выполненных измерений для заданного масштаба.

На точность результатов измерений влияет комплекс факторов, которые необходимо учесть при выполнении съемки в режиме визуального позициониро-

вания, а также на этапе камеральной обработки [1, 2, 3]. Таким образом, уменьшая влияние факторов окружающей среды, возможно произвести оценку точности визуального позиционирования максимально достоверно.

Методы и материалы

В качестве координируемого объекта может быть выбран любой объект. Однако, необходимо учитывать, что разрешающая способность камеры и фиксированное фокусное расстояние не позволят построить максимально точную поверхность объекта, который находится слишком далеко или имеет много мелких деталей.

Для того, чтобы вычислить расстояние H , с которого возможно выполнить наземную фотограмметрическую съемку (НФС) в режиме визуального позиционирования, сохраняя нужную степень детализации 3D модели и учитывая размер проекции пикселя снимка на местности, следует использовать формулу [4]

$$\delta_{px} \cdot \frac{H}{f} \leq 5 \text{ см} \quad (1)$$

где δ_{px} – физический размер пикселя матрицы фотокамеры;

H – расстояние фотографирования;

f – фокусное расстояние камеры;

5 см – требуемое разрешение НФС на местности.

При съемочном расстоянии, превышающем рекомендуемые производителем (2-10м), необходимо выполнять съемку, соблюдая рекомендации, сформулированные автором [1, 2, 3].

После раздельной камеральной обработки нескольких приемов ВП следует сколоть с построенных поверхностей необходимое количество общих точек. Подразумевается, что истинные координаты положения выбранных точек неизвестны, поэтому для вычисления СКО необходимо вычислить среднее арифметическое значение координат сколотых точек $\bar{X}$. Тогда разность между средним значением $\bar{X}$ и результатом i -го измерения будет V_i . Вычисление СКП m следует выполнять по формуле Бесселя.

$$m = \sqrt{\frac{[V^2]}{n-1}} \quad (2)$$

где $[V^2]$ – сумма квадратов уклонений результатов измерений от среднего арифметического значения измеряемой величины;

n – количество измерений.

Далее, следует вычислить среднюю квадратическую ошибку арифметического среднего по формуле [5]

$$M = \sqrt{\frac{[V^2]}{n(n-1)}} \quad (3)$$

Заключение

Разработанная методика может быть использована при поверке приборов с функцией визуального позиционирования, а также при планировании съемочных работ. Однако, предложенная методика не учитывает влияние систематических погрешностей, например, температурную деформацию объектива. Оценка выполняется только для сколотых точек, но не для всей поверхности.

Для подтверждения точности получаемых результатов необходимо также выполнить сравнительный анализ результатов, полученных по внутренней схожимости и по контрольным точкам с известными координатами, а также исследовать порог чувствительности методики при различном количестве приемов для минимизации случайной составляющей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

7. Некрестов, Я. А. Исследование ГНСС-приемника EFT M5 RUS в режиме визуального позиционирования / Я. А. Некрестов, Е. Г. Гиенко, М. В. Зайцев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 289-298. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-2-289-298. – EDN RXYNEW.
8. Некрестов, Я. А. Исследование влияния изменения расстояния до координируемого объекта на точность визуального позиционирования EFT M5 // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 93-103. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-93-103.
9. Некрестов, Я. А. Исследование влияния освещенности на точность координирования в режиме визуального позиционирования EFT M5 / Я. А. Некрестов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 181-188. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-181-188. – EDN GLBGBM.
10. ГОСТ Р 58854–2020 ФОТОГРАММЕТРИЯ. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомodelей застроенных территорий. Издание официальное. – Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 мая 2020 г. №204-ст. Введен впервые. Москва, Стандартинформ, 2020
11. Геодезия. В 2-х кн. Кн. 1 [Текст]: учебник для вузов / Г.А. Уставич. Новосибирск: СГГА, 2012. – 352 с.
- 12.

© Я. А. Некрестов, 2026

Я. А. Некрестов¹✉

Разработка эталонного полигона для верификации точности визуального позиционирования

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Northy123@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены подходы к созданию эталонного полигона для верификации точности визуального позиционирования в современных ГНСС-приемниках. Предложены варианты полевого полигона на основе объектов с известными геометрическими параметрами и пространственных конструкций со светоотражающими марками. Описаны методы оценки точности визуального позиционирования путем сравнения результатов измерений с эталонными данными, полученными тахеометрической съемкой и лазерным сканированием. Практическая значимость работы заключается в возможности проведения контроля точности в условиях, приближенных к реальной эксплуатации геодезического оборудования.

Ключевые слова: визуальное позиционирование, RTK, фотограмметрия, геодезия

Y. A. Nekrestov¹✉

Development of methods for determining the accuracy of measurements using visual positioning devices

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Northy123@yandex.ru

Abstract. This paper examines approaches to creating this long-range testing area for verifying the accuracy of visual transmission in modern GNSS receivers. Field testing options are proposed based on objects with known geometric parameters and spatial structures with reflective markers. Methods for determining visual scanning accuracy by comparing measurement results with reference data obtained by tacheometric surveys and laser scanning are described. The practical novelty of this work lies in the possibility of conducting accuracy testing under conditions similar to those used in the operation of geodetic equipment.

Keywords: Visual positioning, RTK, photogrammetry, survey

Введение

Развитие глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и методов высокоточного позиционирования приводит к появлению на рынке мультисенсорных ГНСС-приемников, в которых спутниковые измерения дополняются данными встроенных фотограмметрических модулей, лазерных дальномеров или SLAM-сканеров. Существующая нормативно-методическая база регламентирует процедуры контроля точности для различных методов измерений по отдельности и не учитывает современную комплексную реализацию геодезических средств измерений.

Целью работы является разработка концепции эталонного полигона для верификации точности режима визуального позиционирования в ГНСС-приемниках, а также представить практические рекомендации по применению предложенных решений для производственного контроля ГНСС-аппаратуры.

Научная новизна заключается в том, что впервые предложены и описаны варианты эталонных полигонов для верификации точности визуального позиционирования (ВП) в полевых условиях.

Практическая значимость состоит в том, что предложенные решения позволяют выполнить контроль точности визуального позиционирования в условиях, максимально приближенных к реальной ситуации.

Методы и материалы

Выполнить контроль точности визуального позиционирования позволит съемка объектов с четким контуром, например, стальной контейнер, который присутствует на любом производственном участке (рис. 1.)



Рис. 1. Вариант стального контейнера

Размерные характеристики таких контейнеров указаны в паспорте. Наличие этой информации позволяет оценить точность визуального позиционирования без необходимости выполнять повторные измерения с более высокоточного инструмента для вычисления эталонного объема.

Для построения альтернативного пространственного эталона необходимо на 4 деревянные вехи с прямоугольным сечением закрепить светоотражающие марки сверху и снизу, всего 8 марок. Расположить подготовленные вехи на выбранной местности так, чтобы положение марок в пространстве образовало параллелепипед (рис. 2.).

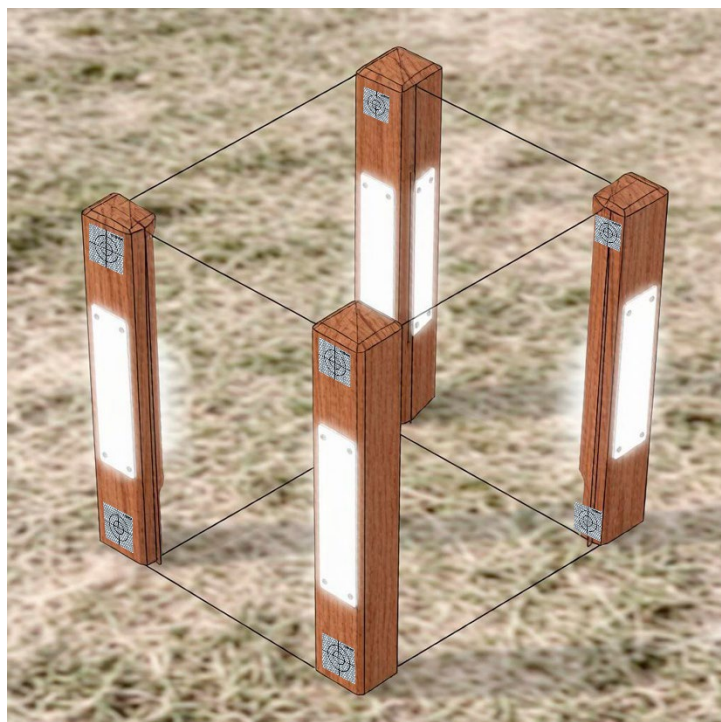


Рис. 2. Пример эталонного пространственного полигона

Расстояние между ребрами выбирается так, чтобы было возможно выполнить координирование марок в режиме визуального позиционирования и с помощью электронного тахеометра, либо стационарного лазерного сканера для получения эталонных координат марок.

Для оценки точности визуального позиционирования следует выполнить съемку подготовленного полигона и вычислить объем параллелепипеда, вершинами которого являются центры светоотражающих марок.

Разница между объемом, полученным по результатам съемки в режиме визуального позиционирования и тахеометрической съемки либо наземного лазерного сканирования позволит оценить точность вычисления координат ВП.

Согласно приказа №186 от 19 мая 2023 г. Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности, допустимая погрешность определения объемов из двух и более независимых определений не должна превышать 2%, а расхождение между двумя независимыми контрольными подсчетами не должно превышать 1% определяемого объема [1].

Результаты

Для наглядности оценки точности с использованием предлагаемого пространственного эталонного полигона выполнены смоделированные расчёты, ориентируясь на паспортную точность используемых инструментов: Электронный тахеометр с угловой точностью 2", ГНСС-приемник со встроенным фотограмметрическим модулем. Электронный тахеометр (ЭТ) с такой угловой точностью теоретически должен обеспечить точность измерений в 2 мм. Измерения, выпол-

ненные с помощью встроенного фотограмметрического модуля, согласно паспорту EFT M5 RUS, обеспечивают точность 20-40 мм.

В качестве эталонного пространственного полигона принято 3 куба со сторонами 10, 20 и 30 м. Эталонные объемы равны 1 000, 8 000 и 27 000 м³ соответственно. Если предположить, что при съемке ЭТ все измерения выполнены с ошибкой 2 мм, тогда вычисленные объемы будут: 1000,60, 8002,40 и 27005,40 м³ соответственно. Полученные разницы в объемах составляют: 0,06%, 0,03% и 0,02% от объемов соответственно.

Точность измерений с наихудшим результатом, для куба со стороной 10 м, превосходит максимально допустимую более чем в 30 раз. Таким образом, измерения электронного тахеометра могут быть приняты за эталонные.

При использовании встроенного фотограмметрического модуля принята средняя ошибка вычисления координат в 0,03 м. Тогда разница с эталонными значениями объемов составят: 0,9%, 0,45% и 0,3% для кубов со стороной 10, 20 и 30 м соответственно.

Следует отметить, что по результатам предыдущих исследований технологии визуального позиционирования для ГНСС-приемника EFT M5 RUS, возможно получить точность вычисления координат 0,01-0,02 м при соблюдении сформулированных рекомендаций по выполнению съемки с использованием встроенного фотограмметрического модуля [2, 3, 4].

Заключение

Предложенные решения позволяют выполнить контроль точности визуального позиционирования в полевых условиях без применения калибровочных стендов и с учетом влияния внешних факторов в комплексе на результаты измерений [2, 3, 4].

В дальнейших исследованиях планируется выполнить апробацию предложенных решений экспериментальным путем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности. Приказ от 19 мая 2023 года №186. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – Текст: электронный/ URL: <https://docs.cntd.ru/document/1301713025> (дата обращения: 20.05.2026). – Режим доступа: доступ по регистрации.
2. Некрестов, Я. А. Исследование ГНСС-приемника EFT M5 RUS в режиме визуального позиционирования / Я. А. Некрестов, Е. Г. Гиенко, М. В. Зайцев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 1, № 2. – С. 289-298. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-2-289-298. – EDN RXYNEW.
3. Некрестов, Я. А. Исследование влияния изменения расстояния до координируемого объекта на точность визуального позиционирования EFT M5 // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 93-103. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-93-103.
4. Некрестов, Я. А. Исследование влияния освещенности на точность координирования в режиме визуального позиционирования EFT M5 / Я. А. Некрестов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2025. – Т. 1, № 1. – С. 181-188. – DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1-181-188. – EDN GLBGBM.

© Я. А. Некрестов, 2026

Д. Б. Новоселов¹ 

Опыт обследования гидроэлектростанции с применением наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования

¹ ООО «ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Российская Федерация
e-mail: novoselov.db@okssh.ru

Аннотация. В статье описан опыт применения наземного лазерного сканирования бетонных поверхностей при обследовании турбоагрегата №4 на действующей гидроэлектростанции. Выполнено сканирование водоприемной части, спиральной камеры и отсасывающей трубы. В процессе работы применялся наземный лазерный сканер Leica RTC 360. По данным лазерного сканирования построены фактические 3D-модели бетонных поверхностей, по проектным данным построены проектные 3D-модели с использованием технологий информационного моделирования. Было выполнено сравнение фактического положения бетонных поверхностей с проектным в пространстве в программе Leica Cyclone 3DR. Результатом являются классические 2D-схемы и трехмерная схема отклонений. Для визуализации данных наземного лазерного сканирования применялись технологии виртуальной реальности, которые позволяют взглянуть на объект под любым углом, и лучше его изучить. Критических отклонений фактического положения бетонных поверхностей от проектных не обнаружено.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, технологии информационного моделирования, обследование бетонных поверхностей, VR-технологии, Leica RTC 360

D. B. Novoselov¹ 

Experience in surveying a hydroelectric power plant using a terrestrial laser scanner and information modeling technologies

¹ LLC "OK «Sibshahtostroy», Novokuznetsk, Russian Federation
e-mail: novoselov.db@okkshs.ru

Abstract. The article describes the experience of using terrestrial laser scanning of concrete surfaces during the inspection of turbine unit No. 4 at an operating hydroelectric power plant. The scanning of the water intake part, the spiral chamber, and the suction pipe was performed. A Leica RTC 360 terrestrial laser scanner was used during the work. Actual 3D models of the concrete surfaces were created based on the laser scanning data, and design 3D models were created based on the design data using information modeling technologies. The actual position of the concrete surfaces was compared with the design position in the Leica Cyclone 3DR program. The result is a classic 2D diagram and a 3D diagram of deviations. Virtual reality technologies were used to visualize the ground-based laser scanning data, allowing users to view the object from any angle, and explore it more thoroughly. There were no critical deviations between the actual position of the concrete surfaces and the design position.

Keywords: terrestrial laser scanning, information modeling technologies, surveying concrete surfaces, and VR technologies, Leica RTC 360

Введение

В процессе эксплуатации гидротехнических сооружений безопасность должна обеспечиваться посредством мониторинга технического состояния сооружений, их оснований, строительных конструкций и механического оборудования [1,2]. В состав строительных конструкций входят бетонные поверхности – ключевой элемент, обеспечивающий прочность, долговечность и безопасность сооружений. Они используются для возведения плотин, водосливов, водосбросов, шлюзов, турбинных блоков, причальных стенок и других элементов гидротехнических узлов. Бетонные поверхности имеют сложную форму как в плановом положении, так и в высотном. Контроль основных геометрических параметров бетонных поверхностей целесообразно выполнять с использованием современных геодезических инструментов, таких как наземные лазерные сканеры.

Наземное лазерное сканирование позволяет за короткий период времени собирать большие массивы геопространственных данных об объекте. Скорость сканирования достигает 2 млн. точек в секунду. Эта технология особенно актуальна, когда присутствует сложная геометрия объектов.

Результатом сканирования является массив точек с определенными трехмерными координатами, принадлежащими объекту. Каждая точка имеет свой реальный цвет, коэффициент отражения и время съемки. По сравнению с традиционными методами измерений съёмка с помощью НЛС позволяет получать исходные данные с высокой степенью детализации при наименьших затратах времени [3-5].

Методы и материалы

Инженерно-геодезические работы с применением наземного лазерного сканера выполнены с целью получения данных о фактическом расположении бетонных поверхностей, сечениях элементов, отклонения от проектного положения. Система координат: условная, принятая для данного объекта. 0.000,0.000 соответствует центру гидроагрегата №4. Оси X и Y соответствуют проектным чертежам. Система высот: Балтийская.

Объект – бетонные поверхности гидроагрегата №4, расположенные в здании Светлинской ГЭС, Республики Саха (Якутия), Мирнинский район, п. Светлый.

Светлинская ГЭС, филиал АО «Вилуйская ГЭС-3» расположена на реке Вилуй в 1206,8 км от устья и является второй ступенью каскада ГЭС на реке Вилуй. Светлинская ГЭС строилась для обеспечения электроэнергией объектов алмазного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО), освоения новых месторождений алмазов, газа, нефти и социально-экономического развития группы Вилуйских улусов (районов) Якутии.

Планируемая мощность ГЭС – 360 МВт, планируемая среднегодовая выработка – 1,2 млрд. кВт·ч. В здании ГЭС должно быть установлено 4 поворотно-лопастных гидроагрегата мощностью по 90 МВт, работающих при расчётном напоре 23 м.

На 2023 год введено 3 гидроагрегата, мощность ГЭС составляет 270 МВт. В текущий момент выполняются работы по обследованию бетонных и металлических конструкций агрегата №4.

Результаты

На объекте выполнена съемка бетонных поверхностей спиральной камеры, водоприемной части и отсасывающей трубы с использованием наземного лазерного сканера Leica RTC360. Скорость сканирования – до 2 000 000 точек в секунду. Поле зрения 360° (по горизонтали) / 300° (по вертикали). Расстояние сканирования от 0.5 до 130 м. Точность системы: угловая точность 18", расстояние 1.0 мм + 10 ppm. Схемы сканирования представлены на рис. 2 и 3.

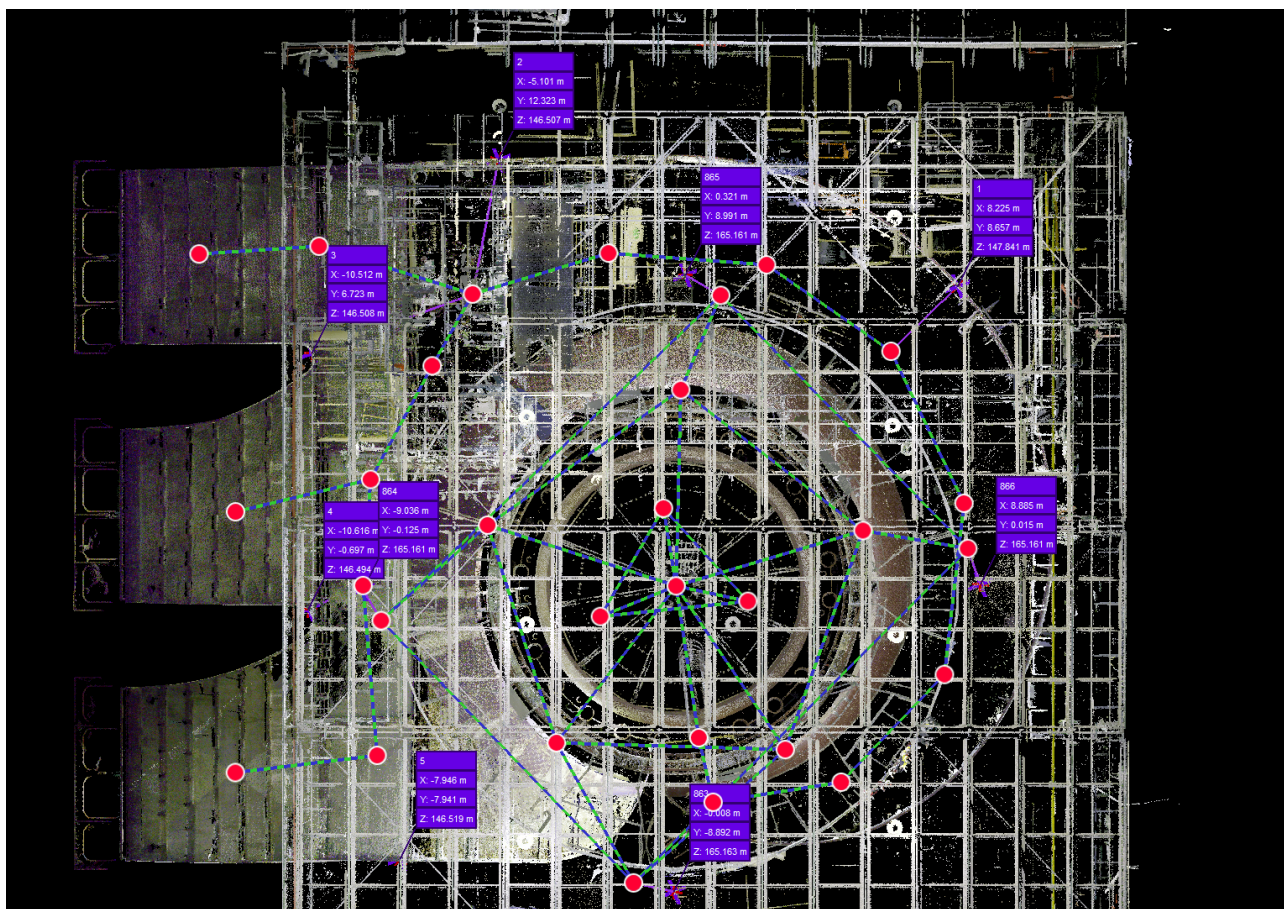


Рис. 2. Схема сканирования водоприемной части и спиральной камеры

В водоприемной части и спиральной камере было выполнено 30 станций сканирования с учетом охвата бетонных поверхностей. В качестве геодезической основы использовались репера, расположенные в машинном зале ГЭС. Геодезистами заказчика были определены новые репера в спиральной камере, но определить геодезическую сеть в отсасывающей трубе не было возможности из-за того, что спиральная камера и отсасывающая труба разделены двумя металлическими площадками. С использованием тахеометра Leica RS09 plus была передана

отметка в отсасывающую камеру, а плановое положение было определено по данным НЛС. По облакам точек вписывались окружности в центре гидроагрегата спиральной камеры и отсасывающей трубы и совмещались. Поворот выполнялся по отводным каналам отсасывающей трубы, которые в условной системе координат строго горизонтальны.

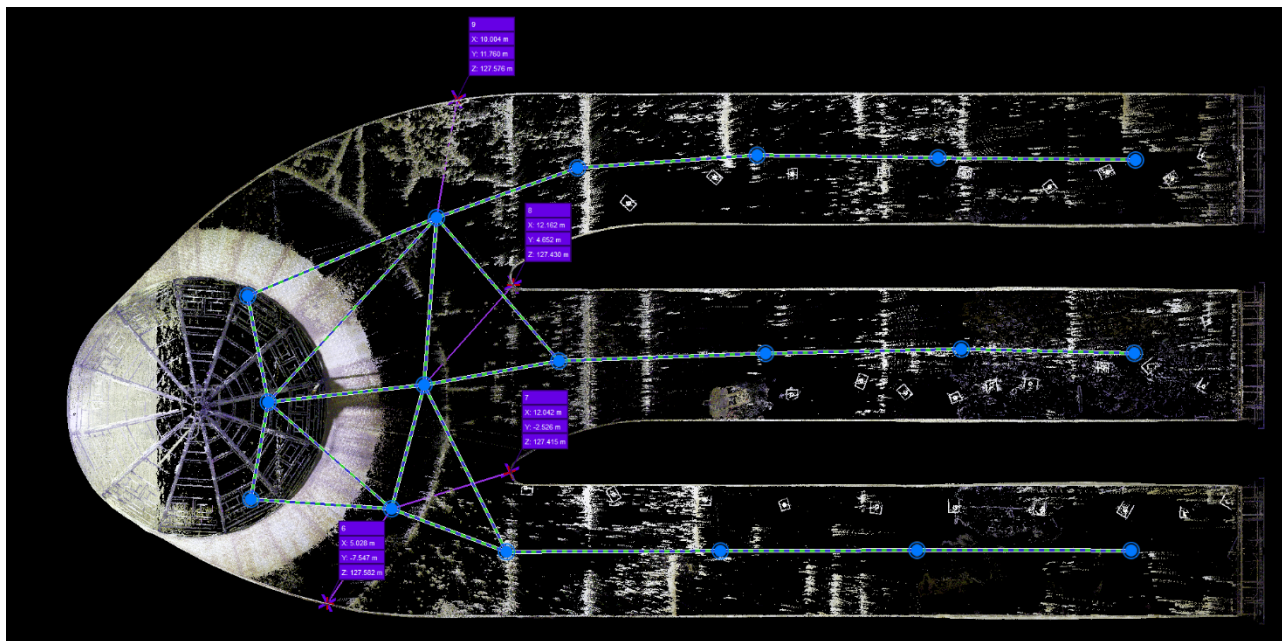


Рис. 3. Схема сканирования отсасывающей трубы

В отсасывающей трубе было выполнено 18 станций сканирования с учетом охвата бетонных поверхностей. В отсасывающей трубе был недостаток в освещённости, а на полу была вода, поэтому использовались искусственные источники света, которые закреплялись на пенопласте и плавали по воде.

После сканирования облака точек каждой станции автоматически сшиваются в программном обеспечении Cyclone REGISTER 360 в единое облако точек.

Результатом съёмки с помощью наземного лазерного сканера являются облака точек и непрерывные сферические панорамы (с возможностью измерений).

Точность съёмки с помощью наземного лазерного сканера строительных конструкций, стационарных установок и оборудования, инженерных сетей и систем соответствует плюс/минус 2 мм, плотность облаков – не менее 10 мм на 10 мм [6].

Облака точек предоставлены с раскраской по реальным цветам RGB в формате tsc, а также в альтернативном формате lgs для бесплатного ПО Leica Truview.

По данным лазерного сканирования были построены фактические модели спиральной камеры и отсасывающей трубы в программе Leica Cyclone 3DR (рисунк 4). Во время сканирования на полу находилась вода, в связи с этим съёмку

бетонной поверхности под водой выполняли классическим способом с помощью электронного тахеометра Leica TS09 plus.

В спиральной камере шаг съёмки составлял 1 метр, в отсасывающей трубе 2 метра. Эти точки интерполировали и создали облако точек с шагом 2 см, затем была построена общая фактическая модель. Интерполяция облака точек была необходима для того, чтобы потолок, стены и пол имели единую плотность точек. Бетонные поверхности «чистились» от шума и посторонних элементов, таких как освещение, двери и остатки арматуры.

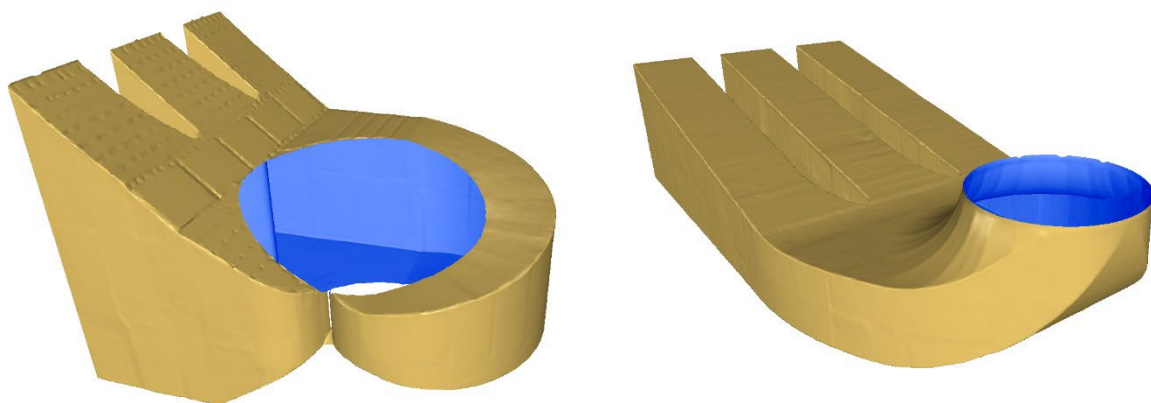


Рис. 4. Фактические 3D-модели

Используя проектные чертежи, были созданы проектные 3D модели спиральной камеры и отсасывающей трубы в программе AutoCAD (рис. 5). Проектные модели представляют собой сеточный каркас, которые повторяет проектные геометрические параметры бетонных конструкций спиральной камеры и отсасывающей трубы [7].

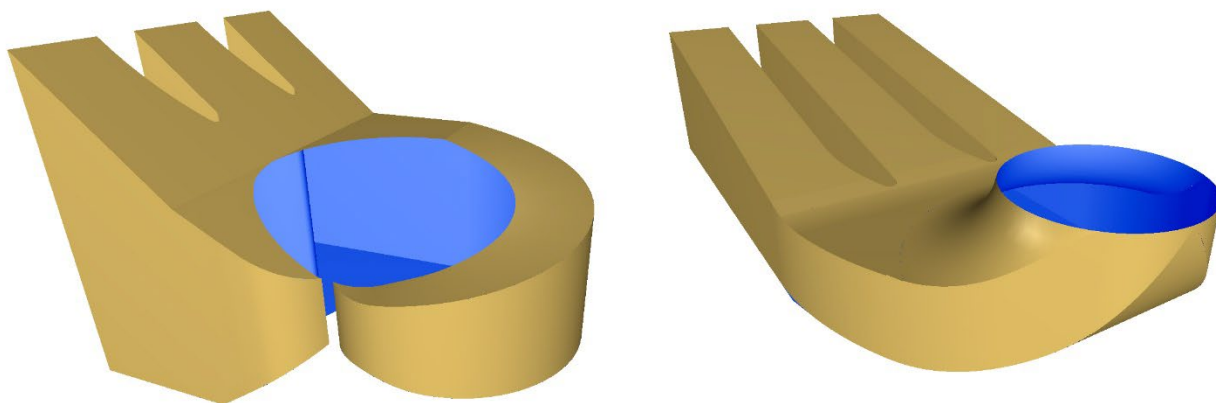


Рис. 5. Проектные 3D-модели

Затем было выполнено сравнение фактического положения бетонных поверхностей с проектным в пространстве в программе Leica Cyclone 3DR. Результатом являются трехмерная схема отклонений с гистограммой (рис. 6).

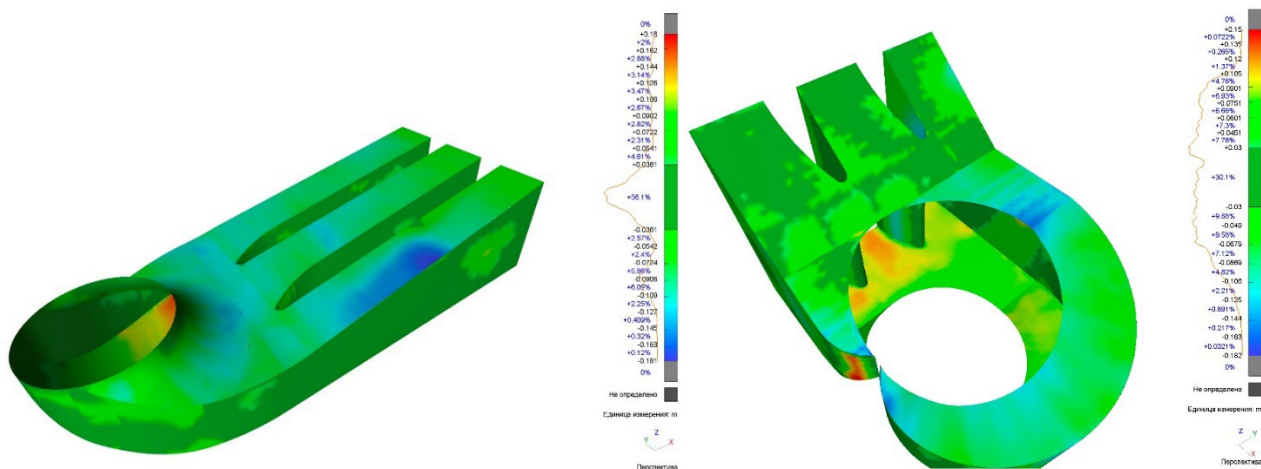


Рис. 6. Трехмерная схема отклонений бетонных поверхностей

По данным моделям были выполнены классические исполнительные схемы в 2D формате с проектным и фактическим положением бетонных поверхностей. Стоит отметить, что сравнение фактических радиусов закругления возможно только в полноценной модели. Чтобы определить фактический радиус, из облака точек выделяется сечение шириной 1 см и по этим точкам вписывается окружность. Точек в сечении несколько тысяч, что позволяет очень точно определять фактически размеры.

По данным сравнения был сделан вывод, что для спиральной камеры максимальные отклонения составляют -18 см и +15 см. 90% отклонений входят в рамки -8 см до +9 см.

В отсасывающей трубе максимальные отклонения составляют -18 см и +18 см. 90% отклонений входят в рамки -10 см до +10 см.

В программе Leica Cyclone 3DR есть команда «регистрация наилучшего приближения». Эта команда анализирует перекрытие выбранных объектов, чтобы вычислить наилучшее соответствие этих объектов. Наилучшее соответствие – преобразование, которое максимально точно совмещает фактическую 3D модель с проектной. Первый объект в выделенной области является опорным неподвижным объектом. Для получения хорошего результата настоятельно рекомендуется, чтобы неподвижный объект покрывал основную часть 3D-модели [8].

Если выполнить такой расчет по отсасывающей трубе, то получим:

Roll (around X): -0.0482926° Pitch (around Y): -0.0558656° Yaw (around Z): -0.0450203°

Gravity center translation: DX -0.0139065 m, DY -0.00999211 m, DZ 0.113522 m

Плановая трансформация 1,3 см по оси X, 1 см по оси Y и 11,3 см по оси Z.

В спиральной камере:

Roll (around X): -0.0599619° Pitch (around Y): 0.0736044° Yaw (around Z): 0.0551193°

Gravity center translation: DX -0.0266144 m, DY -0.0362359 m, DZ 0.0721714 m

Плановая трансформация 2,6 см по оси X, 3,6 см по оси Y и 7,2 см по оси Z.

По данному анализу можно сделать вывод, что по оси Z ошибка больше.

Использование VR-технологии

Для просмотра облаков точек и панорам с НЛС можно использовать шлем виртуальной реальности. Для просмотра облака точек и панорам в ПО Leica Trueview есть дополнительный модуль Leica Trueview VR (рис. 7), который позволяет лучше ориентироваться в пространстве объекта, лучше его изучить и увидеть объект с разных углов.

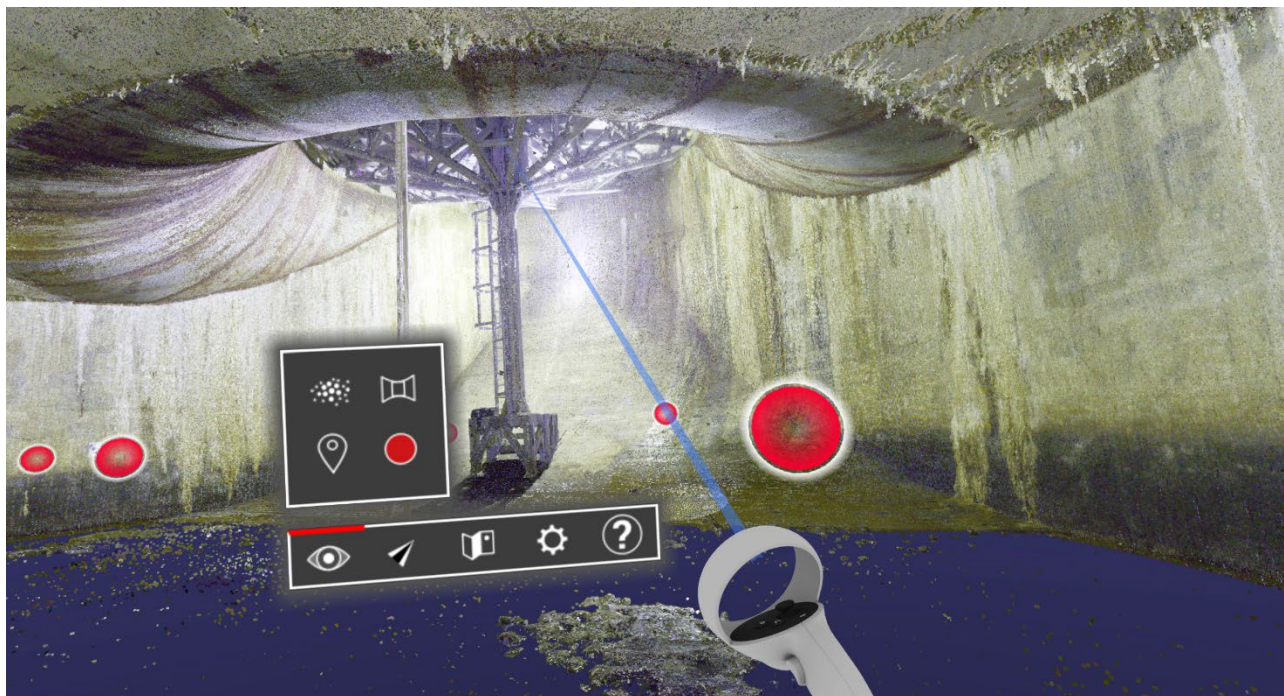


Рис. 7. Просмотр облака точек в шлеме виртуальной реальности

Из опыта работы с облаками точек можно отметить, что с помощью очков виртуальной реальности можно посмотреть на объект с таких ракурсов, с которых невозможно увидеть объект на стандартном мониторе. В виртуальной реальности можно лучше изучить объект и сделать необходимые замеры.

Заключение

В результате выполненных работ получено облако точек в форматах *gsp* и *lgs*, фактические и проектные модели бетонных поверхностей спиральной камеры и отсасывающей трубы, выполнено сравнение и построены исполнительные схемы в 2D формате и трехмерная схема отклонений.

Критических отклонений фактического положения бетонных поверхностей не обнаружено. Отклонения составляют ± 10 см, причем основная ошибка идёт по оси Z.

Перспективы дальнейшего внедрения технологии применения наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования заключается в объединении пространственных данных для контроля строительства и выявления отклонений проект/факт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения». – М.: Стандартинформ, 2018. – 39 с.
2. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 69 с.
3. ГОСТ Р 71863-2024. Фототопография. Лазерное сканирование. Общие положения. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 24 с.
4. Наземное лазерное сканирование / А. В. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова : монография. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
5. Кузнецова А. А. Применение наземного лазерного сканирования для выявления отклонений конструкций от их проектных значений // Геодезия и картография. – 2018. – № 12. – С. 2–7. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-942-12-2-7.
6. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Требования к точности наземного лазерного сканирования для решения инженерно-геодезических задач с помощью цифрового информационного моделирования // Геодезия и картография. – 2021. – № 8. – С. 2–12. DOI: 10.22389/00167126-2021-974-8-2-12.
7. Азаров Б. Ф., Опара В. В. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация // Ползуновский альманах. – 2018. – № 2. – С. 8–11.
8. Новоселов Д. Б. Совместное использование наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования при обеспечении строительства и эксплуатации гражданских и промышленных сооружений // Интерэкспо ГЕО Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. 112–118. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-112-118.

© Д. Б. Новоселов, 2026

В. И. Сергунцов^{1✉}

Создание геодезической разбивочной основы при реконструкции аэропортов

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

Аннотация. В статье рассматриваются принципы и нормативно техническая база создания геодезической разбивочной основы (ГРО) при реконструкции аэропортов. Аэропорты как особо опасные и технически сложные объекты отнесены к сооружениям класса КС-3 с I (повышенным) уровнем ответственности, что представляет собой особые технические требования к точности и надежности геодезического обеспечения строительства. На основе анализа нормативных документов и практического опыта выполнения геодезических работ на аэродромных объектах обосновываются основные принципы построения ГРО: единая система координат и высот, учет точности строительных процессов, обеспечение доверительной вероятности не менее 0,997. Рассматриваются современные технологии, включая спутниковые методы, лазерное сканирование и применение беспилотных авиационных систем, а также перспективы интеграции с BIM-технологиями.

Ключевые слова: геодезическая разбивочная основа, аэропорт, реконструкция, СП 126.13330.2017, СП 121.13330.2019

V. I. Serguncov^{1✉}

Establishing a Geodetic Layout Basis during Airport Reconstruction

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

Abstract. The article examines the principles and regulatory – technical framework establishing a geodetic layout basis (GLB) during airport reconstruction. Airports, as particularly hazardous and technically complex facilities, are classified as KC-3 class structures with a Category I (elevated) level of responsibility. This imposes special technical requirements on the accuracy and reliability of geodetic support for construction. Based on an analysis of regulatory documents and practical experience in conducting geodetic works at airfield facilities, the main principles of GLB construction are substantiated. These include: a unified coordinate and height system, consideration of the accuracy requirements of construction processes, ensuring a confidence probability of at least 0,997. The paper also discusses modern technologies, including satellite-based methods, laser scanning, and the use of unmanned aircraft systems (UAS). Additionally, it explores prospects for integration with BIM technologies.

Keywords: geodetic layout basis, airport, reconstruction, SP 126.13330.2017, SP 121.13330.2019

Введение

Реконструкция аэропортов представляет собой один из наиболее ответственных видов строительной деятельности, поскольку аэродромы относятся к

особо опасным и технически сложным объектам. Согласно действующим нормативно-правовым актам, аэродром отнесен к сооружениям класса КС-3, для которых установлен повышенный уровень ответственности. Это означает, что все геодезические работы – от создания опорной сети до выноса осей сооружений и контрольных измерений – должны выполняться с точностью до 5мм в 95% случаев [1].

Ключевым элементом геодезического обеспечения любого строительства, включая реконструкцию аэропортов, является геодезическая разбивочная основа (ГРО). Одной из важнейших задач является обеспечение единой системы координат и высот объекта.

Цель статьи – на основе анализа нормативной базы и практического опыта определить принципы, требования и технологии создания геодезической разбивочной основы для реконструкции аэропортов.

Методы и материалы

Принципы создания ГРО для реконструкции аэропортов:

- привязка к государственной геодезической сети;
- учет существующей и проектируемой инфраструктуры;
- устойчивость и сохранность знаков на весь срок работ;
- оформление исполнительной документации и передача подрядчику по акту [2].

Формирование геодезической разбивочной основы при реконструкции аэропортов регламентируется комплексом нормативных документов, которые можно разделить на 3 группы:

- основополагающие строительные нормы;
- специализированные аэродромные нормы;
- авиационные стандарты координатного обеспечения [1].

СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» – это основной документ, регламентирующий выполнение геодезических работ. Он устанавливает требования к контролю точности геометрических параметров зданий и сооружений, также мониторингу их деформаций и смещений на всех стадиях строительства и реконструкции. Этот свод правил определяет общие стандарты точности, объем и способы проведения геодезических работ. В 2024 Росстандарт внес дополнения, о необходимости внедрения технологий информационного моделирования (ТИМ), а также использование дистанционного мониторинга с применением беспилотных авиационных систем (БАС) при строительстве.

МН/Т 4015-2013 – это китайский аналог международных стандартов, который устанавливает требования к точности координат аэронавигационных элементов [3].

СП 121.13330.2019 «Аэродромы» – это документ, регламентирующий точность строительства аэродромных покрытий. Этот свод правил устанавливает, что для искусственных покрытий допустимы отклонения от проектных значений: до ± 15 мм для не более 5% измерений, и до ± 5 мм для остальных (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение требований разных стандартов

Параметр	СП 126.13330.2017	СП 121.13330.2019	МН/Т 4015-2013	Комментарий
Основная точность измерений	+5мм	95% результатов: $\leq +5\text{мм}$, 5% допускается $\leq +15\text{мм}$	-	СП 121.13330.2019 допускает более высокие отклонения в сравнение с СП 126.13330.2017
Точность для ВПП	Соответствует общей точности ГРО: +5мм	Для слоев покрытий: +5мм	Координаты порога ВПП: горизонтальная - $\pm 100\text{мм}$, вертикальная $\pm 10\text{мм}$	Разный фокус стандартов
Точность для навигационных средств	Соответствует общей точности ГРО	Не регламентируется	Координаты: горизонтальная - $\pm 300\text{мм}$, вертикальная - $\pm 50\text{мм}$	Важна привязка к аэронавигационной системе
Требования к опорной сети	На основе пунктов гос. Геодезической сети	Не регламентируется отдельно	≥ 4 контрольных точек, расстояние $\leq 500\text{м}$, точность $\leq 100\text{мм}$	Обеспечивает резервирование данных
Система координат	Единая для объекта	Единая для аэродрома	WGS-84	Требует преобразование с погрешностью $\leq 100\text{мм}$

Геодезическая разбивочная основа для реконструкции аэропорта создается как иерархическая система, которая делится от общего к частному:

- опорная геодезическая сеть;
- разбивочная основа объекта;
- внутренние разбивочные сети [4].

При создании ГРО для аэропортов используются следующие системы координат: WGS-84, ПЗ-90.11, а также местные (условные) системы координат. При переходе от местных систем координат к WGS-84 требуется «ключи перехода», а также предоставляемые данные должны пройти проверку [5].

Создание ГРО осуществляется с использованием высокоточного оборудования: спутниковые методы (GNSS), электронные тахеометры, высокоточное нивелирование [6]. Практика показывает, что на сложных участках, таких как болота или густые леса, может потребоваться большее количество опорных точек, что в соответствии с обновленной редакцией СП 126.13330.2017, при создании ГРО и геодезическом сопровождении строительства аэропортов все шире применяются лазерное сканирование, а также системы БАС. Технология лазерного сканирования обеспечивает оперативное формирование высокоточных цифровых моделей рельефа и трехмерных представлений существующих объектов [7]. Данная возможность имеет особую ценность при проведении реконструкции в условиях ограниченного пространства.

Заключение

При реконструкции аэропортов геодезическая разбивочная основа (ГРО) формируется в соответствии с комплексом нормативных документов, главными из которых являются СП 126.13330.2017 и СП 121.13330.2019. Основные принципы построения ГРО включают: создание единой системы координат и высот для всех видов работ, учет высокого уровня ответственности аэропорта как особо опасного объекта, применение дифференцированных требований к точности геодезических работ (с доверительной вероятностью не менее 0,997) и привязку к мировой системе WGS-84 для аэронавигационного обеспечения. Современные технологии, включая спутниковые методы, лазерное сканирование и беспилотные авиационные системы, позволяют создавать высокоточное ГРО в сложных условиях реконструкции. Интеграция геодезического обеспечения с BIM-технологиями является приоритетным направлением развития, обеспечивающим переход к цифровому управлению жизненным циклом аэропортовых объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 121.13330.2019 «Аэродромы» (актуализированная редакция СНиП 32-03-96). — М.: Минстрой России, 2019.
2. СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» (актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84). — М.: Минстрой России, 2017.
3. МН/Т 40152013 «Методические указания по созданию геодезической разбивочной основы для строительства аэродромов». — М.: Росавиация, 2013.
4. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и снимаемой территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). — Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. — С. 142–149.
5. Медведев В. И., Сарычев Д. С., Скворцов А. В. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud // САПР и ГИС автомобильных дорог. — 2014. — № 2 (3). С. 67–74.
6. Батраков Ю.Г. Геодезическое обеспечение строительства аэропортов: учебное пособие. — М.:МИИГАиК 2020. — С. 245.
7. Нестеренко В. М. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации аэродромов. — М.: Недра, 1990. — С. 184.

© В. И. Сергунцов, 2026

В. Е. Терещенко^{1✉}, В. А. Машинец¹, В. В. Дубинин¹

Разработка мобильного приложения для повышения эффективности выполнения геодезических работ

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: v.e.tereshenko@sgugit.ru

Аннотация. В статье описывается процесс разработки многофункционального мобильного приложения «Nivel» для операционной системы (ОС) Android, предназначенного для оптимизации записи полевых геодезических измерений и ускорения камеральной обработки данных. В основу создания программного продукта положен двухуровневый подход к взаимодействию с генеративным искусственным интеллектом (ИИ): на начальном этапе проектирования архитектуры и формирования базового кода использовалась нейросеть Perplexity Pro, а для углубленной реализации, рефакторинга и интеграции модулей применялась среда Cursor AI. Приложение разработано на языке Kotlin по модульному принципу и включает инструменты для ведения журнала нивелирования III и IV классов с возможностью экспорта результатов в форматы Excel и TXT, поверки геодезических приборов, работы с интерактивной картой, решения прямых и обратных геодезических задач, конвертации и калькуляции угловых величин, а также каталог приборов. В результате исследования создан программный комплекс объемом более 14 000 строк кода, успешно прошедший тестирование на реальных геодезических данных с высокой точностью вычислений. Готовый продукт опубликован в открытом доступе на платформе RuStore и может применяться как практикующими инженерами для оптимизации производственных процессов, так и студентами профильных специальностей в качестве учебного пособия.

Ключевые слова: мобильное приложение, Android, Kotlin, генеративный искусственный интеллект, автоматизация геодезических работ, журнал нивелирования

V. E. Tereshchenko^{1✉}, V. A. Mashinec¹, V. V. Dubinin¹

Development of a Mobile Application to Improve the Efficiency of Geodetic Works

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: v.e.tereshenko@sgugit.ru

Abstract. This article describes the development process of Nivel, a multifunctional mobile application for the Android operating system, designed to optimize the recording of field geodetic measurements and accelerate office data processing. The creation of this software product is based on a two-stage approach to interacting with generative artificial intelligence: the Perplexity Pro AI was used at the initial stage for architectural design and basic code generation, while the Cursor AI environment was employed for in-depth implementation, refactoring, and module integration. Developed in Kotlin using a modular architecture, the application includes tools for maintaining Class III and IV leveling journals with data export to Excel and TXT formats, verification of geodetic instruments, interactive mapping, solving direct and inverse geodetic problems, conversion and computation of angular values, as well as an instrument catalog. As a result of the study, a software package comprising over 14,000 lines of code was developed and successfully tested on real-world

geodetic data, demonstrating high computational accuracy. The finished product is openly published on the RuStore platform and can be used by practicing engineers to optimize field workflows, as well as by students in relevant geodetic disciplines as an educational resource.

Keywords: mobile application, Android, Kotlin, generative artificial intelligence, automation of geodetic works, leveling journal

Введение

Стремительное развитие информационных технологий открывает новые возможности для автоматизации инженерных изысканий. В современной геодезии точность и скорость обработки данных напрямую влияют на эффективность производственного процесса. Традиционные методы ведения полевых журналов в бумажном виде сопряжены с риском возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором, и требуют значительных временных затрат на последующую камеральную обработку.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью создания доступного, мобильного и многофункционального инструмента, который мог бы служить как помощником практикующего геодезиста, так и учебным пособием для студентов профильных специальностей.

Целью данного исследования является разработка функционального мобильного приложения для ОС Android с использованием методов генеративного искусственного интеллекта. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- произвести анализ современных нейросетевых решений для разработки программного обеспечения;
- спроектировать архитектуру приложения и подобрать эффективные промты для ИИ на каждом этапе;
- технически реализовать ключевые модули;
- протестировать ПО на реальных геодезических данных;
- опубликовать готовый продукт в открытый доступ.

Двухуровневый процесс взаимодействия с ИИ

Процесс разработки был разделен на два ключевых этапа в зависимости от сложности задач и требуемого контроля над кодом.

На начальном этапе использовалась нейросеть Perplexity Pro [1]. В интерфейсе модели был создан отдельный проект с системной инструкцией, ориентированной на неопытного пользователя. Это позволяет снизить «порог входа» в программирование и сосредоточиться на логике геодезических задач, а не на синтаксисе языка. Нейросеть отработывала итерационно, создавая простые поля ввода, затем в них создавала более сложные алгоритмы обработки, затем искала ошибки, обрабатывала их в коде, затем заново возвращалась к простому действию и так далее.

С помощью Perplexity был сформирован основной каркас приложения: логика главного меню и два первых функционирующих модуля – «Журнал нивелирования» и «Поверка угла i».

После составления основного скелета работа перешла в среду Cursor AI [2]. В отличие от чат-интерфейсов, Cursor AI работает напрямую с файловой системой компьютера, что позволило модели анализировать весь контекст проекта одновременно. Разработка в Cursor также велась итерационно. Это было необходимо для решения следующих задач:

- предотвращение переполнения контекстного окна модели, что могло привести к потере логических связей в коде;
- экономия токенов, выделенных на бесплатный период использования Cursor, путем точечных запросов к конкретным файлам и функциям вместо регенерации всего проекта.

Этот гибридный подход позволил эффективно наращивать функционал приложения, сохраняя стабильность архитектуры.

Алгоритмическая база приложения опирается на классические формулы инженерной геодезии. Источником формул послужили ресурсы научно-технической библиотеки СГУГиТ [3]. В общей сложности программный комплекс включает более 14000 строк кода.

Функциональная структура и программная реализация

Программная архитектура приложения «Nivel» реализована на языке Kotlin [4] и построена по модульному принципу. Каждый модуль представляет собой отдельный файл, отвечающий за конкретный тип геодезических вычислений.

Основная навигация по функциям приложения происходит через экран главного меню. Ниже приведено детальное описание логики работы основных компонентов.

Модуль «Журнал нивелирования» (рис. 1). Данный модуль является центральным элементом приложения, заменяющим традиционный бумажный полевой журнал. Он обеспечивает не только хранение первичных данных, но и их комплексную аналитическую обработку в режиме реального времени.

Входные данные: программа принимает отсчеты по рейкам (задняя и передняя) по трем нитям (верхняя, средняя, нижняя) для первого приема, а также средние отсчеты для второго приема.

Алгоритм обработки данных:

- вычисляются расстояния от прибора до реек по разности отсчетов по дальномерным нитям [5];
- рассчитываются превышения для каждого приема как разность отсчетов по задней и передней рейкам;
- проводится логическая проверка: если разность между превышениями в двух приемах превышает установленный допуск (например, 5 мм), приложение выводит предупреждение о необходимости повторения измерений.

Программа поддерживает работу с различными регламентами измерений. Реализованы алгоритмы для нивелирования III и IV классов [6], учитывающие соответствующие допуски и методику наблюдений. Также интегрирована авторская методика «Nivel», оптимизированная для ускоренных инженерных изысканий при сохранении требуемой точности.

Для интеграции полевых измерений в камеральный процесс реализована функция экспорта данных. Пользователь имеет возможность выполнить экспорт всех введенных и вычисленных значений в двух форматах: excel-таблица и текстовый файл.

Рис. 1. Журнал нивелирования

Модуль «Поверка» предназначен для выполнения поверки геодезических приборов (рис. 2). На данный момент модуль поддерживает только поверку угла i способом из середины. Интерфейс модуля содержит подробное текстовое описание методики поверки, а также реализует пошаговый алгоритм выполнения процедуры с интерактивным вводом исходных данных и автоматическим расчетом промежуточных значений.

← Поверка главного условия

Шаг 2 из 5 40%

Позиция 1: Нивелир посередине

Установите нивелир в точке С строго посередине между рейками А и В

Рейка А (задняя) D = 30,00 м		
Верхняя	Средняя	Нижняя
1750	1600	1450

Отсчёты в мм

Рейка В (передняя) D = 30,00 м		
Верхняя	Средняя	Нижняя
1850	1700	1550

Отсчёты в мм

Превышение $h = a' - b'$ -100,0 мм

Разность плеч: 0,0 м — в пределах допуска

Рис. 2. Экран поверки угла i

Модуль «Карта» реализует интерактивную картографическую среду на базе векторного движка OSMDroid [7]. Для начала работы необходимо создать специализированный проект карты, в рамках которого осуществляется локальное хранение и визуализация размещенных пользователем точек.

При добавлении новой точки доступен выбор типа маркера из предустановленного набора (маркер, окружность, звезда, здание, твердый геодезический пункт, временная точка/пикет), ввод наименования и текстового описания, а также возможность прикрепления фотофиксации объекта (рис. 3).

← Проект 1

Новая точка

Иконка Выбрать

Название
T1

Описание
Находится у бордюра

Фотография

Камера Галерея

Отмена Добавить

Рис. 3. Добавление новой точки на карту

Интерфейс модуля предоставляет исполнителю возможность не только ориентироваться на местности, но и проводить измерения расстояний, устанавливать пользовательские метки и осуществлять фотофиксацию объектов с привязкой к конкретным точкам.

Модуль «Другие функции» выполняет роль навигационного хаба для вспомогательных геодезических расчетов (рис. 4). Модуль предоставляет доступ к четырем специализированным инструментам:

- прямая геодезическая задача (ПГЗ) – расчет координат конечной точки по известным координатам начальной точки, дирекционному углу и расстоянию;
- обратная геодезическая задача (ОГЗ) – определение дирекционного угла и расстояния между двумя точками с заданными координатами. Алгоритм включает определение четверти расположения линии и автоматический расчет румба [8];
- конвертация угловых величин – перевод градусов в градусы-минуты-секунды (ГМС) и обратно, а также конвертация между градусами и радианами, градусами и астрономическими часами. Интерфейс включает вкладки для различных типов преобразований с возможностью копирования результатов в буфер обмена;
- калькулятор угловых операций – выполнение сложения и вычитания угловых величин с автоматическим приведением результата к стандартному формату.

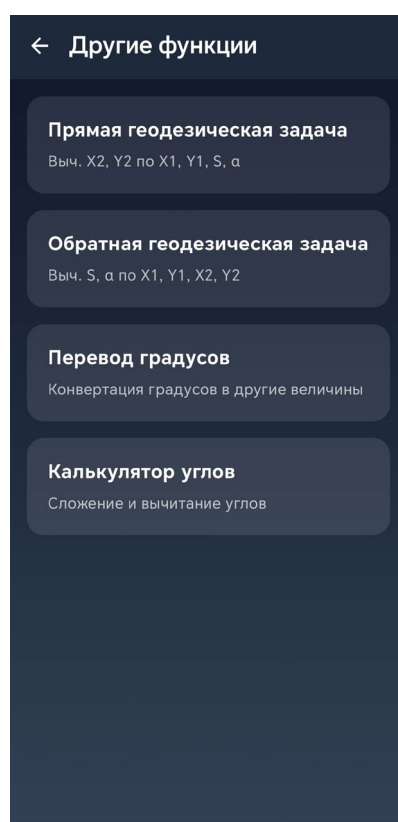


Рис. 4. Меню дополнительных функций

Модуль «Справка». Интерфейс содержит структурированное описание ключевых функций приложения, а также перечень математических формул и алгоритмических зависимостей, лежащих в основе вычислительных модулей системы. Данный раздел может использоваться как учебное пособие при изучении инженерной геодезии.

Модуль «Обратная связь» обеспечивает канал коммуникации с разработчиками. Взаимодействие организовано посредством встраивания веб-интерфейса Google Forms в стандартный компонент WebView [9], что гарантирует кроссплатформенную совместимость форм ввода, автоматическую валидацию данных на стороне сервера и минимизацию клиентского кода.

Модуль «Каталог приборов» предоставляет структурированный доступ к базе предустановленных геодезических инструментов. Для каждого инструмента доступен переход на экран детализации, содержащий полные технические характеристики и встроенный просмотр руководства пользователя в формате PDF (рис. 5).

Дополнительно реализован механизм регистрации пользовательских приборов, позволяющий задать наименование, выбрать тип инструмента (тахеометр/нивелир), внести технические спецификации, прикрепить фотографию прибора и загрузить электронную документацию.



Рис. 5. Карточка инструмента с характеристиками

Заключение

В результате проведенного исследования разработано многофункциональное мобильное приложение «Nivel» для операционной системы Android, предназначенное для автоматизации геодезических работ. Применение двухуровневого подхода к взаимодействию с генеративным искусственным интеллектом (Perplexity Pro для начального проектирования и Cursor AI для углубленной разработки) позволило эффективно создать программный продукт объемом более 14 000 строк кода. Разработаны алгоритмы для решения основных геодезических задач: журнал нивелирования III и IV классов, поверка инструментов, прямая и обратная геодезические задачи, конвертация угловых величин. Реализован интерактивный картографический модуль с возможностью создания проектов, размещения маркеров и измерения расстояний. Создана база данных геодезических инструментов с возможностью расширения пользователем. Обеспечена функция экспорта данных в форматы Excel и TXT для последующей камеральной обработки.

Приложение прошло успешное тестирование на реальных геодезических данных и показало высокую точность вычислений. Программный продукт опубликован в открытом доступе на площадке Rustore и доступен для скачивания по ссылке: <https://www.rustore.ru/catalog/app/com.example.nivel30>.

Приложение может быть использовано как практикующими специалистами, так и студентами геодезических специальностей в качестве учебного пособия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Perplexity AI : официальный сайт. – URL: <https://www.perplexity.ai/pro> (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.
2. Cursor Docs : official documentation. – URL: <https://docs.cursor.com> (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.
3. Уставич, Г.А. Геодезия. В 2-х кн. Кн. 2 [Текст]: учебник для вузов / Г.А. Уставич. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 536 с. ISBN 978-5-87693-740-7
4. Coroutines : official documentation. – Kotlin Documentation. – URL: <https://kotlinlang.org/docs/coroutines-overview.html> (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.
5. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов : утв. Федер. службой геодезии и картографии России 18.11.03 : введ. в действие с 01.01.04. – Москва : ЦНИИГАиК, 2004. – 135 с.
6. Room persistence library : official documentation. – Android Developers. – URL: <https://developer.android.com/training/data-storage/room> (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.
7. Osmdroid: OpenStreetMap-Tools for Android. – URL: <https://github.com/osmdroid/osmdroid> (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.
8. Jetpack Compose : documentation. – Android Developers. – URL: <https://developer.android.com/jetpack/compose> (дата обращения: 01.03.2026). – Текст : электронный.
9. WebView : API reference. – Android Developers. – URL: <https://developer.android.com/reference/android/webkit/WebView> (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.

© В. Е. Терещенко, В. А. Машинец, В. В. Дубинин, 2026

Н. Н. Яковлев^{1✉}, Д. Г. Назаров²

Применение наземного лазерного сканирования при оценке деформаций внутренней защитной оболочки реакторного здания

¹Государственное автономное учреждение Московской области «Научно-исследовательский и проектный институт градостроительства (ГАУ МО «НИиПИ градостроительства»),
г. Москва, Россия

² Акционерное общество «Концерн Титан-2» Ленинградская область, г. Сосновый Бор, Россия
e-mail: yakovlevnn@niipi.ru

Аннотация. Строительство объектов атомной энергетики является передовым направлением, имеющим стратегическое значение для развития страны. К атомной энергетике предъявляются повышенные требования на всех этапах строительства и последующей эксплуатации. Применение наземного лазерного сканирования при получении геопространственных данных даёт существенные преимущества, такие как: высокую скорость, точность, детализацию и автоматизацию в процессе сбора, обработки и анализа пространственных данных. В данной статье апробирован современный подход к получению геопространственных данных, последующей обработке и анализу результатов наземного лазерного сканирования при оценке деформаций сооружений внутренней защитной оболочки реакторного здания. Проанализирована возможность применения и последующего внедрения в производственные процессы технологии информационного моделирования (BIM – Building Information Modeling).

Ключевые слова: внутренняя защитная оболочка реакторного здания, картограмма купола, наземное лазерное сканирование, оценка влияний деформаций

N. N. Iakovlev^{1✉}, D. G. Nazarov²

Application of ground-based laser scanning in the assessment of deformations of the inner protective shell of the reactor building

¹State autonomous institution Moscow region «Research and Project Institute of Urban Planning»,
Moscow, Russia

²Joint Stock Company Concern Titan-2 Leningrad Region, Sosnovy Bor, Russia,
e-mail: yakovlevnn@niipi.ru

Abstract. The construction of nuclear power facilities is a cutting-edge area of research that is of strategic importance for the country's development. Nuclear power facilities are subject to stringent requirements at all stages of construction and subsequent operation. The use of terrestrial laser scanning for obtaining geospatial data offers significant advantages, including high speed, accuracy, detail, and automation in the collection, processing, and analysis of spatial data. This article presents a modern approach to obtaining geospatial data, followed by the processing and analysis of terrestrial laser scanning results for assessing the deformation of the internal protective shell of a reactor building. The possibility of applying and subsequently implementing information modeling technology (BIM – Building Information Modeling) in production processes has been analyzed.

Keywords: Internal protective shell of the reactor building, dome map, ground-based laser scanning, and assessment of deformation effects

Введение

Атомная электростанция АЭС «Аккую» расположена на берегу Средиземного моря. Район входит в состав муниципалитета Гюлнар (Gülнар) провинции Мерсин (Mersin). Район строительства относится к Средиземноморскому региону.

Площадка находится в окружении холмов высотой до 270 м, являющихся естественной границей территории размещения АЭС. Отметка земли на площадке изменяется от 0 до 150 м над уровнем Средиземного моря (рис.1).



Рис. 1. Промышленная площадка АЭС «Аккую»

К основным зданиям и сооружениям промышленной площадки относятся реакторное здание, которое включает в себя несколько контуров физической защиты реактора, внутренняя защитная оболочка ВЗО и наружная защитная оболочка НЗО. На этапе укрупнительной сборки металлоконструкции купола реактора проверяются геометрические параметры и оцениваются деформации [1]. Выполняется тахеометрическая съемка с заданным шагом, на основании данной съемки производится анализ фактических параметров купола. Отчетным документом является картограмма купола, где сравниваются фактические параметры с проектными.

Для обработки массива данных необходимо построить проектную модель купола (эталонную полусферу), которая будет являться отчетной основой при сравнении с результатами наземного лазерного сканирования. Необходимо отметить, что данный подход, связанный с построением эталонной поверхности является широко применяемым в отечественной нефтегазовой сфере при построении моделей трубопроводных систем и сложных геометрических объектов [2]. На основании проведенных исследований, можно сделать однозначный вывод, что комплексный подход с использованием наземного лазерного сканирования (НЛС) является эффективным для сбора геопространственных данных и после-

дующего анализа вертикальных и горизонтальных деформаций. Так же необходимо отметить, что при помощи НЛС получается массив данных, который полностью описывает геометрию исследуемого объекта [1, 2, 3, 4, 5].

В данной статье проанализированы различные методы и способы получения массива данных, выполнено построение эталонной полусферы и апробирована методика оценки деформации купола внутренней защитной оболочки энергоблока АЭС «Аккую».

Постановка задачи

Для успешной реализации строительно-монтажных работ по укрупнительной сборке и последующему монтажу металлоконструкции внутренней защитной оболочки (далее ВЗО) необходимо выполнить тахеометрическую съемку с заданной дискретностью. Полученные значения необходимо сравнить с проектными параметрами купольной части.

Полусфера – это трехмерная геометрическая фигура, которая представляет собой верхнюю половину сферы. Принципиальная схема верхней части внутренней защитной оболочки приведена представляет собой сферу (рис. 2).

Сравнение геометрических размеров проектной и фактической полусферы является оценкой деформации купола и определяется длиной вектора от центра сферы до заданной точки на ее поверхности.

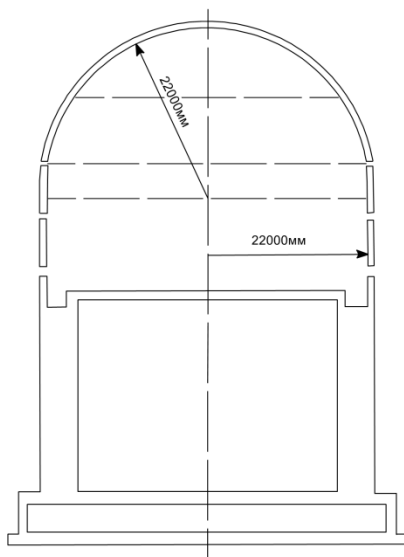


Рис. 2. Схема ВЗО энергоблока АЭС

Методы исследований

Для решения поставленной данной задачи необходимо следующее:

- сгущение геодезической разбивочной основы на участке укрупнительной сборки;
- сгущение геодезической разбивочной основы на монтажном горизонте;
- сканирование ВЗО на заданных площадках;

- математическая обработка результатов измерений в специализированном программном комплексе;
- построение цифровой модели проектного купола;
- сравнение фактических параметров купола с проектными;
- анализ деформационных параметров.

Сгущение геодезической разбивочной основы

При сканировании купола, на стапеле выполнялось сгущение геодезической основы с использованием электронного тахеометра с систематической погрешностью 1 сек. При обработке результатов геодезических измерений применялся математический аппарат метода наименьших квадратов.

В результате уравнивания получена математическая модель, максимально подобная реальному построению геодезической сети ВРС. При этом полевые измерения и применяемые методы позволили минимизировать систематические погрешности, а случайные погрешности подчиняются закону нормального распределения. При проведении геодезических измерений, выполнялись все меры, чтобы ослабить систематические погрешности, путем соответствующих геодезических построений с задачей оптимальной геометрии фигур и увеличением числа избыточных измерений.

При сканировании купола на монтажном горизонте выполнялась проверка внутренней разбивочной основы. После чего выполнялись работы по сканированию купола.

Создание математической модели проектного купола

Основной задачей на данном этапе было построение проектной математической модели купола, которая является отчетной поверхностью сравнения с фактическими измеренными параметрами по результатам сканирования.

Цифровые модели, полученные по результатам измерений и построенные с заданной регулярной сеткой, необходимо было представить в виде картограммы для однозначного дешифрирования и последующей оценки деформации в каждом из узлов регулярной сетки. Для решения данной задачи рассматривались разные интерпретации построения регулярной сетки. Опытным путем было установлено, что метод хорд (рис. 3). является максимально адаптивным для данных условий. Данный способ построения регулярной сетки реализован и зарекомендовал себя как многофункциональный.

Для построения регулярной сетки эталонной полусферы и последующей обработки измерений использован подход, реализованный в [1] для оценки влияния деформации.

Оптимальным решением для построения регулярной сетки является метод хорд, (Рис. 3). Метод хорд описывает расчёт координат вершин правильных многоугольников, которые вписанных в сферу и расположены по плоскостям меридианов и параллелей. Шаг сетки определяется количеством многоугольников и количество вершин этих многоугольников и коррелирует с размерами хорды, соединяющей две

соседние точки сетки. В нашем случае величина хорды должна быть равна расстоянию между серединами двух смежных элементарных участков.

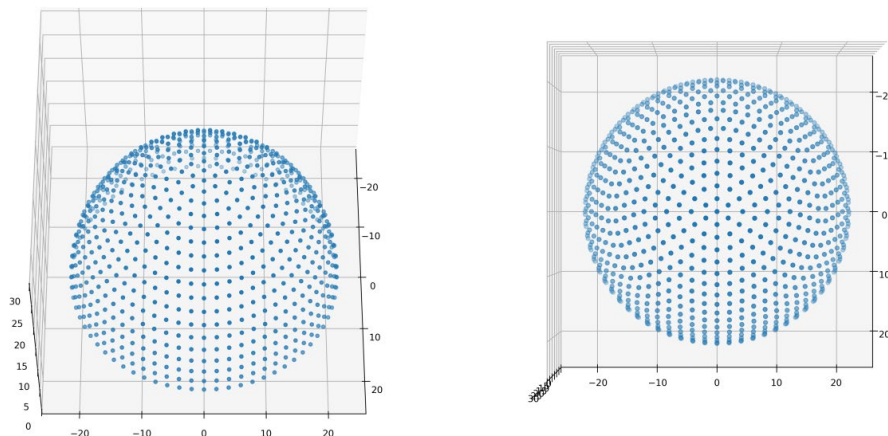


Рис. 3. Построение сетка по методу хорд

Необходимо отметить, что данный алгоритм построения регулярной сетки успешно реализуется методами программирования.

Наземное лазерное сканирование поверхности купола

Наземное лазерное сканирование выполнялось в ночное время с целью уменьшения влияния температурных деформаций, а также работающего персонала и средств механизации.

Обработка результатов измерений облака точек выполнялась в специализированном программном комплексе. Процесс сканирования ВЗО представлен на (рис. 4).



Рис.4. Сканирование ВЗО на монтажном горизонте

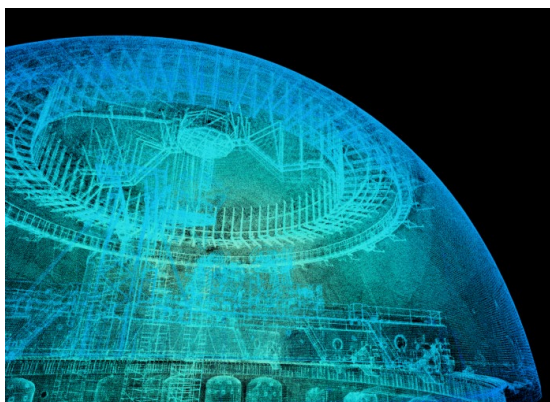
Необходимо отметить, что на этапе укрупнительной сборки купола расположено большое количество вспомогательных сооружений, которые в последствии при обработке результатов сканирования необходимо удалять. После отбраковки результатов сканирования выполняется фильтрация точек по различным критериям.

Данные научные изыскания были реализованы при укрупнительной сборке первого энергоблока АЭС «Аккую». (рис. 5).

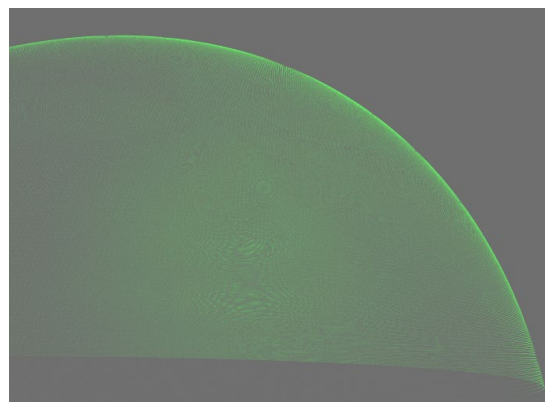


Рис. 5. Сканирование купола на стапеле

После математической обработки результатов измерений и оценки точности была построена модель купола реактора, при этом использовался программный продукт RiSCAN PRO. После этого выполнялась наложение фактической модели купола на проектную. Выполнялась отбраковка сопутствующих конструкций (рис. 6). Априорный расчет точности узлов регулярной сетки и последующее построение картограммы реализованы в [1].



а)



б)

Рис. 6. Облако точек: *а)* до фильтрации *б)* после фильтрации

Дискуссия

В результате сканирования ВЗО получена полноценная трехмерная модель купола. Данная модель при наличии ВІМ модели может оперативно и с высокой эффективностью использоваться для подготовки комплекта исполнительной геодезической документации, а также для анализа отклонений (деформации) от проектных параметров. Анализ параметров деформации показан на (рис.7).

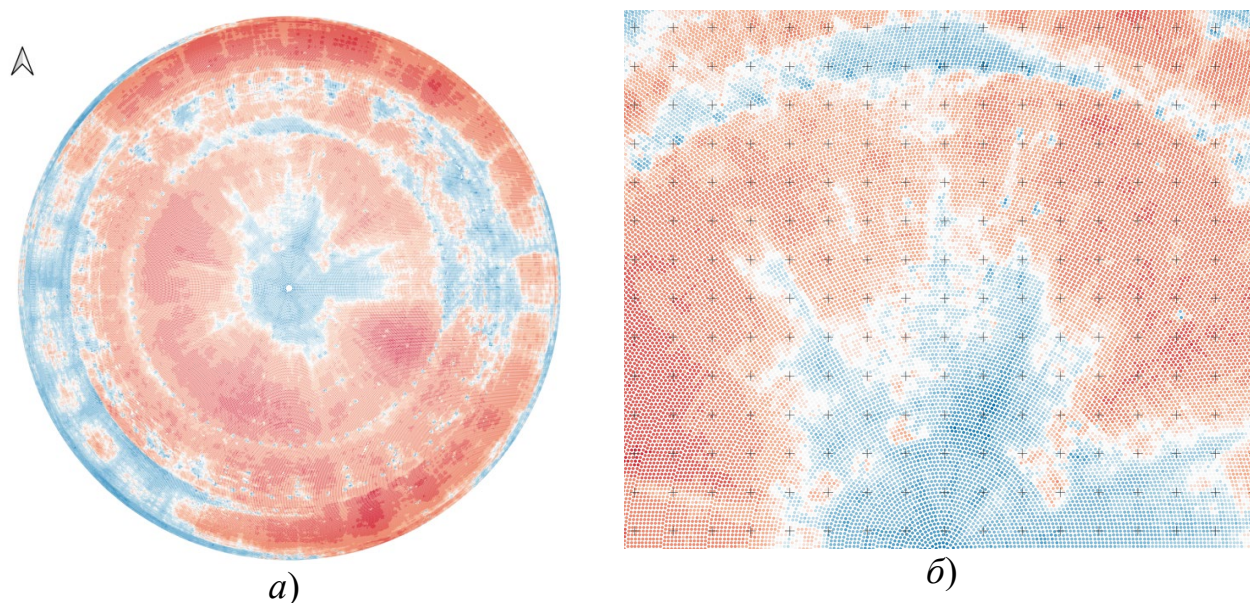


Рис. 7. Картограмма купола (а) и ее фрагмент (б)

Выводы

1. Данные исследования позволяют оперативно и с заданной точностью анализировать массив данных по выявлению деформации ВЗО;
2. Применение данного подхода позволит вносить соответствующие корректировки в технологические процессы по укрупнительной сборке с целью минимизации отклонения действительных геометрических параметров от заданных проектом;
3. Разработана методика построения эталонной модели и регулярной сетки для последующего анализа и сравнения с действительными значениями, полученными по результатам сканирования;
4. В рамках данного исследования разработано программное обеспечение, решающее задачи по строгой математической обработке результатов измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н.Н. Яковлев, С.С. Руденко, А.А. Воробьев, А.В. Сугробов, Р.Р. Салимов-Берлинец, Д.Г. Назаров «Вопрос строгой обработки наземного лазерного сканирования при оценке деформации сооружений ядерной энергетики». Известия Вузов геодезия и аэрофотосъемка УДК 528.3.

2. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий. 2009. 261 с. ISBN 978-5-87693-336-2.

3. Комиссаров, А.В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий: дис. ...д-ра технических наук. 25.00.34 "Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия". 2016. 278 с.

4. В.И. Медведев, Д.С. Сарычев, А.В. Скворцов. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud / // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). – С. 67-74.

5. Шуршин, К.Ю. Проведение инженерно-геодезических изысканий объектов топливно-энергетического комплекса с использованием технологий мобильного лазерного сканирования и тепловизионной съемки // Экспозиция Нефть Газ. 2013. № 3(28). С. 10-13.

@ Н. Н. Яковлев, Д. Г. Назаров, 2026

Н. Д. Яковлева^{1✉}, М. Я. Брын¹

Определение и оценка точности объёмов объектов недвижимости, представленных тетраэдральной и призматической 3D-моделью

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: natashayakovleva24@gmail.com

Аннотация. В статье разработан обобщённый подход к определению и оценке точности объёмов объектов недвижимости, представленных в виде тетраэдральной и призматической трёхмерной модели. Объект рассматривается как замкнутый полиэдр, разделенный на совокупность тетраэдров и/или треугольных призм. Получены аналитические выражения объёмов элементарных тел через приращения координат, что обеспечивает инвариантность результатов относительно выбора системы координат. Выполнен вывод формул средних квадратических ошибок объёмов с учётом полной ковариационной матрицы наблюдений для координатных и разностно-координатных измерений. Проведён сравнительный анализ методов, показано, что разностно-координатный подход обеспечивает снижение дисперсии за счёт исключения общей ошибки начала координат. Установлено влияние геометрических характеристик элементов модели на точность вычислений. Сформулирован критерий оптимального разбиения объекта недвижимости, включающий условия равенства объёмов элементов и минимизации их геометрической вытянутости. Показано, что комбинированное использование тетраэдров и призм позволяет повысить эффективность моделирования и устойчивость оценки объёмов.

Ключевые слова: трёхмерный кадастр, тетраэдр, призма, объём, оценка точности, средняя квадратическая ошибка

N. D. Yakovleva^{1✉}, M. Ya. Bryn²

Definition and accuracy assessment of volumes of real estate objects represented by tetrahedral or prismatic 3D models

^{1,2} Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russian Federation
e-mail: natashayakovleva24@gmail.com

Abstract. This article presents a generalized approach to determining and assessing the accuracy of volumes of real estate objects represented by tetrahedral and prismatic three-dimensional models. The object is considered as a closed polyhedron subdivided into a set of tetrahedra and triangular prisms. Analytical expressions for the volumes of elementary bodies are obtained using coordinate increments, which ensures invariance of the results with respect to the choice of coordinate system. Formulas for the root mean square errors of volumes are derived taking into account the full covariance matrix of observations for both coordinate and difference-based measurements. A comparative analysis of the methods is performed, showing that the difference-based approach reduces variance by eliminating the common origin error. The influence of geometric characteristics of model elements on computational accuracy is established. A criterion for the optimal subdivision of a real estate object is formulated, including conditions of equal element volumes and minimization of their geometric elongation. It is shown that the combined use of tetrahedra and prisms improves modeling efficiency and the stability of volume estimation.

Keywords: 3D cadastre, tetrahedron, prism, volume, accuracy assessment, root mean square error

Введение

Современное развитие урбанизированных территорий характеризуется интенсивным освоением надземного и подземного пространства. Многоуровневые здания, подземные парковки, инженерные тоннели, транспортные развязки формируют сложную пространственную структуру имущественных комплексов.

Двумерная модель кадастрового учета, основанная на фиксации плоских координат характерных точек, не позволяет объективно отображать вертикальное разграничение прав. В международной практике активно развивается концепция трёхмерного кадастра. Например, в работах Y. Stoter и P. Van Oosterom [1] показано, что объект недвижимости в 3D-кадастре должен представляться замкнутым объёмным телом с корректной топологией. Анализ мирового опыта внедрения 3D-кадастров подтверждает использование полиэдральных моделей и их декомпозиции на простейшие элементы [2]. Стандарт ISO 19152 (LADM) закрепляет возможность описания пространственных единиц в виде объёмных тел [3]. В цифровых городских моделях (CityGML) также используется полиэдральное представление объектов [4].

В рамках концепции создания трёхмерной кадастровой системы объект недвижимости рассматривается как замкнутое ограниченное множество в трёхмерном евклидовом пространстве, представленное в виде полиэдра. Современное развитие трёхмерных кадастровых систем обусловлено необходимостью точного описания пространственной структуры объектов недвижимости, включающих сложные надземные и подземные конструкции [5-8]. Представление таких объектов в виде замкнутых полиэдров является общепринятым подходом, обеспечивающим корректность топологии и возможность вычисления геометрических характеристик.

Наиболее распространённым способом дискретизации полиэдра является тетраэдрализация, однако при моделировании объектов с выраженной слоистой или вытянутой структурой целесообразно использование призматических элементов. Это позволяет уменьшить количество элементарных тел и повысить вычислительную устойчивость.

Целью работы является разработка единого математического аппарата определения объёма и оценки его точности для тетраэдральных и призматических 3D-моделей.

Методы и материалы

Рассмотрим объект недвижимости как замкнутый полиэдр $P = (G, E, F)$, (где G – множество вершин, E – ребра, F – грани), представленный объединением тетраэдров и треугольных призм. Тогда общий объём определяется как сумма объёмов элементарных тел:

$$V = \sum_{i=1}^{n_t} V_i^t + \sum_{j=1}^{n_p} V_j^p . \quad (1)$$

где V_i^t – объемы тетраэдров, V_j^p – объемы призм.

Пусть тетраэдр задан вершинами A_1, A_2, A_3, A_4 . Введём векторы

$$\vec{a} = A_2 - A_1, \quad \vec{b} = A_3 - A_1, \quad \vec{c} = A_4 - A_1.$$

Тогда объём тетраэдра определяется через смешанное произведение векторов:

$$V_t = \frac{1}{6} |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|. \quad (2)$$

Данное выражение инвариантно относительно выбора базовой вершины и удобно для использования в координатной форме через приращения координат.

Рассмотрим треугольную призму, заданную вершинами A_1, A_2, A_3 и B_1, B_2, B_3 , где основания параллельны. Введём векторы

$$\vec{a} = A_2 - A_1, \quad \vec{b} = A_3 - A_1, \quad \vec{c} = B_1 - A_1.$$

Объём призмы выражается аналогично, но с учётом геометрии тела

$$V_p = \frac{1}{2} |(\vec{a} \times \vec{b}) \cdot \vec{c}|. \quad (3)$$

Таким образом, объём призмы в три раза превышает объём соответствующего тетраэдра, построенного на тех же векторах.

Оценка точности выполняется на основе метода дифференцирования функции объёма. Пусть объём определяется функцией измеренных величин $V = f(u)$. Тогда дисперсия объёма выражается через ковариационную матрицу измерений

$$\sigma_V^2 = \Delta f^T K_U \Delta f, \quad (4)$$

где K_U – ковариационная матрица.

При координатных измерениях вектор наблюдений включает координаты вершин, а при разностно-координатных – приращения координат.

Выполним оценку точности объема тетраэдра. Предположим, что координаты вершин получены геодезическими измерениями и имеют средние квадратические ошибки $m_{x_i} = m_{y_i} = m_{z_i} = m$. Ошибки считаются независимыми.

Получим выражение i-ого тетраэдра:

$$m_{V_i^t} = \frac{m}{6} \sqrt{2(|b \times c|^2 + |c \times a|^2 + |a \times b|^2)}. \quad (5)$$

Аналогично для j-ой призмы:

$$m_{V_j^p} = \frac{m}{2} \sqrt{2(|b \times c|^2 + |c \times a|^2 + |a \times b|^2)}. \quad (6)$$

Результаты

Анализ частных производных показывает, что для тетраэдра средняя квадратическая ошибка объёма пропорциональна площади его граней и средней квадратической ошибке координат

$$\sigma_{V_t} = L^2 \sigma, \quad (7)$$

где L – характерный линейный размер тетраэдра.

Для призмы аналогичный анализ даёт

$$\sigma_{V_p} = 3\sigma_{V_t}, \quad (8)$$

что объясняется линейной зависимостью объёма призмы от соответствующего тетраэдрального представления.

Установлено, что относительная ошибка объёма

$$\frac{\sigma_t}{V} = \frac{\sigma}{L}, \quad (9)$$

возрастает при уменьшении линейных размеров элементов модели, что особенно важно при высокой степени детализации.

При использовании координатных измерений наличие корреляции и общей ошибки начала координат приводит к увеличению дисперсии. В случае разностно-координатных измерений эта составляющая исключается, что обеспечивает более устойчивую оценку

$$\sigma_V^2(\Delta) < \sigma_V^2(u). \quad (10)$$

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что точность определения объёма зависит не только от точности измерений, но и от геометрии элементарных тел. Тетраэдры обеспечивают универсальность разбиения, однако при малых размерах становятся чувствительными к ошибкам измерений.

Призматические элементы, напротив, позволяют использовать более крупные геометрические блоки при сохранении точности, особенно для объектов с регулярной структурой. Это снижает количество элементов модели и уменьшает накопление ошибок.

Оптимальное разбиение объекта достигается при выполнении условия равенства объёмов элементов

$$V_i = \text{const}, \quad (11)$$

а также минимизации их геометрической вытянутости. В общем случае дисперсия суммарного объёма минимизируется при решении задачи

$$\sum \sigma_{V_i}^2 \rightarrow \min. \quad (12)$$

Комбинированное использование тетраэдров и призм позволяет учитывать особенности геометрии объекта и повышать эффективность моделирования.

Заключение

В работе разработан обобщённый метод определения объёмов объектов недвижимости, представленных тетраэдральной и призматической 3D-моделью. Получены аналитические формулы объёмов и их точности на основе координатных и разностно-координатных измерений. Доказано, что разностно-координатный метод обеспечивает более высокую точность за счёт исключения общей ошибки координат. Установлено влияние геометрии элементов модели на точность вычислений и сформулирован критерий оптимального разбиения. Показано, что комбинированная тетраэдрально-призматическая модель является наиболее эффективной для задач трёхмерного кадастра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stoter J., Van Oosterom P. 3D Cadastre in an International Context: Legal, Organizational, and Technological Aspects. Boca Raton: CRC Press, 2006. 323 p.
2. Van Oosterom P., Stoter J., Ploeger H., Thompson R., Karki S. World-wide inventory of the status of 3D cadastres in 2014 and expectations for 2018 // Proceedings of the 5th International FIG 3D Cadastre Workshop. Athens, 2016. P. 1–18.
3. ISO 19152:2012. Geographic information — Land Administration Domain Model (LADM). Geneva: ISO, 2012. 118 p.
4. Gröger G., Kolbe T.H., Nagel C., Häfele K.H. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version 2.0.0. Open Geospatial Consortium, 2012. 344 p.3. Токин А. А., Шоломицкий А. А. Методика автоматизированной съёмки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 31–40. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-31-40.
5. Бердюгина, А. А. Разработка структуры и содержания 3D-моделей объектов недвижимости в ЕГРН / А. А. Бердюгина, А. В. Чернов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. 124 «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 2 –87–98 с.
6. Дементьев, В. Е. Современная геодезическая техника и ее применение: Учебное пособие для вузов. / В. Е. Дементьев. – М.: Академический Проект, 2008. – 591 с.
7. Аврунев Е. И., Дорош М. П. Разработка информационной модели для повышения достоверности кадастровой информации // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2018.– Т. 23, № 1. – С. 156–166.
8. Портнов А.М., Добровольский Д.О., Сравнительная оценка геометрической сложности контуров объектов местности при осуществлении государственного земельного надзора и мониторинга земель на примере объектов капитального строительства // Геодезия и картография. – 2024. – № 3. – С. 50-61. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1005-3-50-61.

© Н. Д. Яковлева, М. Я. Брынь, 2026

Г. Г. Побединский^{1, 2}✉

Предложения по совершенствованию методологии геодезического и картографического обеспечения Российской Федерации

1 Российское общество геодезии, картографии и землеустройства, г. Москва, Российская Федерация

2 Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Российская Федерация
e-mail: pobedinskij-gg@yandex.ru

Аннотация. Проблема обеспечения территории Российской Федерации достоверными, точными, а главное современными государственными топографическими картами и планами по-прежнему остается очень острой. На примере Арктической зоны Российской Федерации рассмотрена проблема геодезического и картографического обеспечения территории. Сделаны предварительные выводы, что обеспеченность Арктической зоны Российской Федерации Единой электронной картографической основой (ЕЭКО) не соответствует нормативам, установленным Правительством не только в 2024 г., но и в 2016 г. Обеспеченность опорных населенных пунктов (муниципальных образований) Арктической зоны государственными топографическими планами масштабов 1:10 000 и 1:2 000 крайне низкая. Рассмотрены нормы периодичности обновления государственных топографических карт и планов соответственно 2002, 2016 и 2024 гг. и действовавшая в 2005-2012 гг. Методика определения и расчета показателей деятельности Федерального агентства геодезии и картографии, содержащая порядок определения уровня обновления топографических карт по территориям предприятий топографо-геодезического производства Роскартографии и территории Российской Федерации в целом. Действующие нормативы обновления карт и планов не подтверждены методическими материалами по анализу уровня картографического обеспечения. Отсутствие документа стратегического планирования, определяющего целевые ориентиры развития отрасли геодезии и картографии, сопровождается отсутствием методологии геодезического и картографического обеспечения Российской Федерации.

Ключевые слова: геодезическое обеспечение, картографическое обеспечение, государственные топографические карты, единая электронная картографическая основа, периодичность обновления

G. G. Pobedinsky^{1, 2}✉

Proposals for improving the methodology of geodetic and cartographic support of the Russian Federation

1 Russian Society of Geodesy, Cartography and Land Management, Moscow, Russian Federation

2 Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation
e-mail: pobedinskij-gg@yandex.ru

Abstract. The problem of providing the territory of the Russian Federation with reliable, accurate, and most importantly modern state topographic maps and plans is still very acute. Using the example of the Arctic zone of the Russian Federation, the problem of geodetic and cartographic support of the territory is considered. Preliminary conclusions have been drawn that the provision of the Arctic zone of the Russian Federation with a Unified Electronic Cartographic Framework (EECO) does not meet the standards established by the Government not only in 2024, but also in 2016. The provision of the main settlements (municipalities) of the Arctic zone with state topographic plans on scales of 1:10,000

and 1:2,000 is extremely low. The norms of the periodicity of updating state topographic maps and plans for 2002, 2016 and 2024, respectively, and those in force in 2005-2012, are considered. The methodology for determining and calculating the performance indicators of the Federal Agency for Geodesy and Cartography, which contains the procedure for determining the level of updating topographic maps for the territories of enterprises of the topographic and geodetic production of Roskartography and the territory of the Russian Federation as a whole. The current standards for updating maps and plans are not supported by methodological materials for analyzing the level of cartographic support. The absence of a strategic planning document defining the target guidelines for the development of the geodesy and cartography industry is accompanied by the lack of a methodology for geodetic and cartographic support in the Russian Federation.

Keywords: geodetic support, cartographic support, state topographic maps, unified electronic cartographic framework, frequency of updates

Введение

Проблема геодезического и картографического обеспечения территории Российской Федерации по-прежнему остается очень острой. Проведение Росреестром стратегических сессий по Геопорталу инфраструктуры пространственных данных государств – участников СНГ и по развитию деятельности Межгосударственного совета СНГ, анкетирование «Исследование потребностей в картографической продукции и пространственных данных» [9] и другие мероприятия не показывают выхода из сложившейся ситуации с отсутствием достоверных, точных, а главное современных государственных топографических карт и планов. Поставленные цели и задачи программы «Национальная система пространственных данных» [24] не могут быть достигнуты поскольку отсутствует фундамент – информация о местности [7, 8, 23]. Примером может служить картографическое обеспечение наиболее активно развиваемого региона Российской Федерации - Арктической зоны.

Сухопутные территории Арктической зоны Российской Федерации определены Указом Президента Российской Федерации «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» [31], уточнены Федеральными законами ««Об особенностях предоставления гражданам земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности и расположенных в Арктической зоне Российской Федерации и на других территориях Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации ...» [32] и «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» [33].

В соответствии с Федеральным законом «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации» Арктическая зона Российской Федерации это сухопутные территории и примыкающие к ним внутренние морские воды, территориальное море и участки континентального шельфа Российской Федерации, а также земли и острова, которые в будущем могут быть открыты, не являются территориями иностранных государств, расположены в Северном Ледовитом океане к северу от побережья Российской Федерации до Северного полюса в пределах между меридианом 32°04'35" восточной долготы, проходящим по восточной стороне Вайда-губы через триангуляционный знак на мысе Кекурский, и меридианом 168°49'30" западной долготы, проходящим по середине пролива, разделяющего острова Ратманова и Крузенштерна группы островов Диомиды в Беринговом проливе [33].

Картографическое обеспечение Арктической зоны Российской Федерации на примере единой электронной картографической основы

Картографическая обеспеченность Арктической зоны Российской Федерации может быть в значительной степени представлена Единой электронной картографической основой (ЕЭКО), как совокупности карт, планов и ортофотопланов. В соответствии с приказом Росреестра [27] состав сведений ЕЭКО должен обеспечивать возможность представления следующих сведений в электронной форме:

- ортофотопланы масштабов 1:2 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000;
- топографические карты и планы масштабов: 1:2 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:1 000 000 и общегеографической карты масштаба 1:2 500 000.

В соответствии с приказом Росреестра [27] периодичность обновления сведений единой электронной картографической основы подлежат обновлению не позднее 6 месяцев со дня обновления государственных топографических карт, государственных топографических планов и ортофотопланов, содержащихся в федеральном фонде пространственных данных, но не реже чем один раз в десять лет.

В настоящее время периодичность обновления государственных топографических карт и государственных топографических планов определена постановлением Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения об обновлении государственных топографических карт и государственных топографических планов, а также масштабов, в которых они создаются» [26].

Обеспеченность Арктической зоны Российской Федерации Единой электронной картографической основой (ЕЭКО) и ее соответствие действующим нормативам приведена в табл. 1, где в числителе приведено общее количество номенклатурных листов, входящих в ЕЭКО топографических карт и планов, а в знаменателе количество карт и планов, соответствующих нормативным требованиям.

Таблица 1 – Обеспеченность Арктической зоны Российской Федерации Единой электронной картографической основой (ЕЭКО)

№	Субъект Федерации	Районы Арктической зоны	1:1 000 000 всего норм.	1:500 000	1:200 000	1:100 000	1:50 000	1:25 000	1:10 000	1:2 000
1	Мурманская область	все районы	4/4	0/0	28/0	125/0	437/0	0/0	16*/0*	0/0
2	Ненецкий АО	все районы	6/6	0/0	48/0	184/0	606/0	0/0	1*/0*	0/0
3	Чукотский АО	все районы	7/7	0/0	94/0	530/0	1942/0	0/0	2*/0*	20/0
4	Ямало-Ненецкий АО	все районы	10/10	0/0	60**/0	548/0	1991/0	26/11	9*/0*	0/0

Окончание табл. 1

№	Субъект Федерации	Районы Арктической зоны	1:1 000 000 всего норм.	1:500 000	1:200 000	1:100 000	1:50 000	1:25 000	1:10 000	1:2 000
5	Республика Карелия	6 районов ¹	4/4	0/0	7**/0	66/0	215/0	0/0	4*/0*	0/0
6	Республика Коми	4 района ²	3/3	0/0	2**/0	113/0	374/0	0/0	3*/0*	0/0
7	Республика Саха (Якутия)	13 районов ³	22/22	0/0	114**/0	1285/0	4764/0	0/0	2*/0*	21*/0*
8	Красноярский край	4 района ⁴	30/30	0/0	180**/0	1416/0	5275/0	0/0	2*/0	0/0
9	Архангельская область	9 районов ⁵	21/21	0/0	97/0	288/0	742*/0	0/0	5*/2*	0/0
10	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	2 района ⁶	9/9	0/0	64**/0	370**/5	1347**/9	432**/111	18*/13	0/0

* планы населенных пунктов без разделения на номенклатурные листы

** не вся территория

Кроме перечня субъектов Российской Федерации, районов и муниципальных образований, входящих в Арктическую зону Российской Федерации, распоряжением Правительства Российской Федерации [28] утвержден перечень опорных населенных пунктов (муниципальных образований) Арктической зоны, включающий 19 агломераций, приведенных в табл. 2.

¹ Республика Карелия 6 районов: Беломорский, Калевальский, Кемский, Костомукшский городской округ, Лоухский, Сегежский

² Республика Коми 4 района: городские округа Воркута, Инта, Усинск, Усть-Цилемский район

³ Республика Саха (Якутия) 13 районов (улусов): Абыйский, Аллаиховский, Анабарский национальный (долгано-эвенкийский), Булунский, Верхнеколымский, Верхоянский, Жиганский национальный эвенкийский, Момский, Нижнеколымский, Оленёкский эвенкийский национальный, Среднеколымский, Усть-Янский, Эвено-Бытантайский национальный

⁴ Красноярский край 4 района: город Норильск, Таймырский Долгано-Ненецкий, Туруханский, Эвенкийский (частично 10 сельских поселений)

⁵ Архангельская область 9 районов: Архангельск, Мезенский, Новая Земля, Новодвинск, Онежский, Приморский, Северодвинск, Лешуконский, Пинежский

⁶ Ханты-Мансийский автономный округ – Югра 2 района: Белоярский муниципальный район, Березовский муниципальный район

Таблица 2 – Обеспеченность опорных населенных пунктов (муниципальных образований) Арктической зоны государственными топографическими планами

№	Наименование агломерации	Населенные пункты (муниципальные образования)	1:10 000	1:2 000
Республика Карелия				
1.	Кемско-Беломорская агломерация	муниципальное образование Кемский муниципальный район, муниципальное образование «Беломорский муниципальный район»	6*/0*	0/0
Республика Коми				
2.	Агломерация Воркуты	муниципальное образование городского округа «Воркута»	3*/0*	0/0
Республика Саха (Якутия)				
3.	Тикси-Найба	муниципальное образование «Булунский улус (район)» Республики Саха (Якутия)	0*/0*	0/0
Красноярский край				
4.	Агломерация Норильск-Дудинка	городской округ город Норильск Красноярского края, городское поселение город Дудинка Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края	4*/0*	0/0
5.	Диксон	городское поселение Диксон Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края	0*/0*	0/0
6.	Хатанга	сельское поселение Хатанга Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края	0*/0*	0/0
Архангельская область				
7.	Архангельская агломерация	городской округ «Город Архангельск», городской округ Архангельской области «Северодвинск», городской округ Архангельской области «Город Новодвинск»	13*/4*	0/0
Мурманская область				
8.	Мурманская агломерация	муниципальное образование городской округ город-герой Мурманск, городской округ закрытое административно-территориальное образование город Североморск Мурманской области, муниципальное образование Кольский муниципальный район Мурманской области	9*/0*	0/0

Окончание табл. 2

№	Наименование агломерации	Населенные пункты (муниципальные образования)	1:10 000	1:2 000
9.	Кировско-Апатитская агломерация	муниципальное образование муниципальный округ город Кировск с подведомственной территорией Мурманской области, муниципальное образование муниципальный округ город Апатиты с подведомственной территорией Мурманской области, муниципальное образование город Полярные Зори с подведомственной территорией Мурманской области	9*/0*	0/0
10.	Мончегорская агломерация	муниципальный округ город Мончегорск с подведомственной территорией Мурманской области	3*/0*	0/0
Ненецкий автономный округ				
11.	Агломерация Нарьян-Мара	муниципальное образование «Городской округ «Город Нарьян-Мар»	3*/0*	0/0
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра				
12.	Белоярский	Белоярский муниципальный район Ханты-Мансийского автономного округа - Югры	3*/0*	0/0
13.	Березово	Березовский муниципальный район Ханты-Мансийского автономного округа - Югры	0*/0*	0/0
Чукотский автономный округ				
14.	Агломерация Певек-Билибино	муниципальный округ Певек Чукотского автономного округа, муниципальное образование Билибинский муниципальный район	5*/0*	0/0
15.	Агломерация Анадыря	городской округ Анадырь, Анадырский муниципальный район	1*/0*	40/0
16.	Агломерация Эгвекинот	муниципальный округ Эгвекинот Чукотского автономного округа	0*/0*	
Ямало-Ненецкий автономный округ				
17.	Новый Уренгой	городской округ город Новый Уренгой Ямало-Ненецкого автономного округа	3*/3*	0/0
18.	Агломерация Салехард-Лабытнанги	городской округ город Салехард, городской округ город Лабытнанги Ямало-Ненецкого автономного округа	5*/3*	0/0
19.	Ноябрьск	городской округ город Ноябрьск Ямало-Ненецкого автономного округа	3*/0*	0/0

* планы населенных пунктов без разделения на номенклатурные листы, на один населенный пункт могут быть созданы три плана – секретный, открытый и навигационный

Анализируя представленные в таблицах данные, можно сделать предварительные выводы. Обеспеченность Арктической зоны Российской Федерации

Единой электронной картографической основой (ЕЭКО) не соответствует не только нормативам установленным Правительством в 2024 г. [26], но и нормативам 2016 г. [25].

Обеспеченность опорных населенных пунктов (муниципальных образований) Арктической зоны государственными топографическими планами масштабов 1:10 000 и 1:2 000 крайне низкая. Из 19 агломераций всего 4 населенных пункта имеют современные планы масштаба 1:10 000 и только в Анадыре были созданы планы масштаба 1:2 000, в настоящее время не соответствующие нормативам. Обеспечение Арктической зоны государственными топографическими картами и планами для Росреестра не является первоочередной задачей.

Периодичность обновления государственных топографических карт и планов

Поскольку в общем объеме государственных геопространственных данных федерального уровня более 90 % составляют государственные топографические карты и планы, а также данные дистанционного зондирования Земли, более подробно критерии качества топографических карт, планов, единой электронной картографической основы (ЕЭКО), а также данных дистанционного зондирования Земли, используемых для обновления карт более подробно рассмотрены в работах [9, 10, 12].

Обобщая требования нормативных документов и публикаций по картографии и геоинформатике наиболее важными критериями качества государственных геопространственных данных в части государственных топографических карт, планов и ЕЭКО, являются следующие:

- точность - степень соответствия местоположения объектов в базе геопространственных данных их местоположению в действительности;
- современность – степень соответствия информации в базе геопространственных данных современному состоянию объекта;
- достоверность – степень соответствия информации в базе геопространственных данных состоянию объекта на определенную дату.

В последнее время часто объединяют свойства «достоверность» и «современность» под общим термином «актуальность», более того национальным стандартом «Национальная система пространственных данных. Термины и определения» [7] установлен термин «Актуальность пространственных данных» – это временной интервал, прошедший от момента сбора данных до текущего момента, который влияет на их пригодность для решения конкретных задач. Термин не совсем удачный, так как высокая актуальность подразумевает устаревшие пространственные данные и наоборот. Кроме того, объединение свойств «достоверность» и «современность» представляется не совсем корректным, так как в ряде случаев востребованными являются достоверные на определенную дату геопространственные данные для решения спорных вопросов. А с другой стороны современные геопространственные данные имеющие недостаточную точность могут быть совершенно не востребованы.

Свойства «точность», «достоверность» и «современность» — это объективные свойства геопространственных данных, однозначно трактуемые в системах «машина - машина» (полностью автоматизированные технологии выполнения расчетных задач) и в системах «человек - машина» (технологии поддержки принятия управленческих решений) [9, 10, 12].

Поскольку наиболее важным критерием представляется «современность», рассмотрим его регламентирование в действующих нормативных актах более подробно.

Метод определения «степени современности листов карты», представленный в Основных положениях по созданию и обновлению топографических карт [5], и способ определения «степени устарелости карты», приведенный в Руководстве по картографическим и картоиздательским работам [4], требовали оценки каждого листа карты и затрудняли проведение массовых работ по обновлению государственных топографических карт и планов. Более прогрессивным методом представлялась разработка схем периодичности обновления государственных топографических карт и планов [16].

Одним из первых нормативных актов, регламентирующих периодичность обновления государственных топографических карт и планов, было постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении норм плотности размещения пунктов государственных нивелирных, геодезических и гравиметрических сетей и норм периодичности обновления государственных топографических карт и планов». Нормы периодичности обновления государственных топографических карт и планов [17] применялись почти 14 лет (табл. 3).

Таблица 3 – Нормы периодичности обновления государственных топографических карт и планов

Территории	Нормы периодичности, лет		
	1:2 000 и 1:5 000	1:10 000 и 1:25 000	1:50 000 и мельче
Городские и сельские поселения, другие муниципальные образования	1-5	5-10	5-10
Экономически освоенные территории, территории повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также приграничные территории	-	5-20	15-20
Районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности	-	15-20	15-20

Следует отметить, что ответственными за геодезическое и картографическое обеспечение закрепленных за ними территорий были подведомственные Федеральной службе, а после 2004 года Федеральному агентству геодезии и кар-

тографии (Роскартографии) производственные аэрогеодезические предприятия. Границы территорий деятельности (зон ответственности), в пределах которых аэрогеодезические предприятия осуществляли свои полномочия в 1992–2012 гг., приведены на рис. 1.

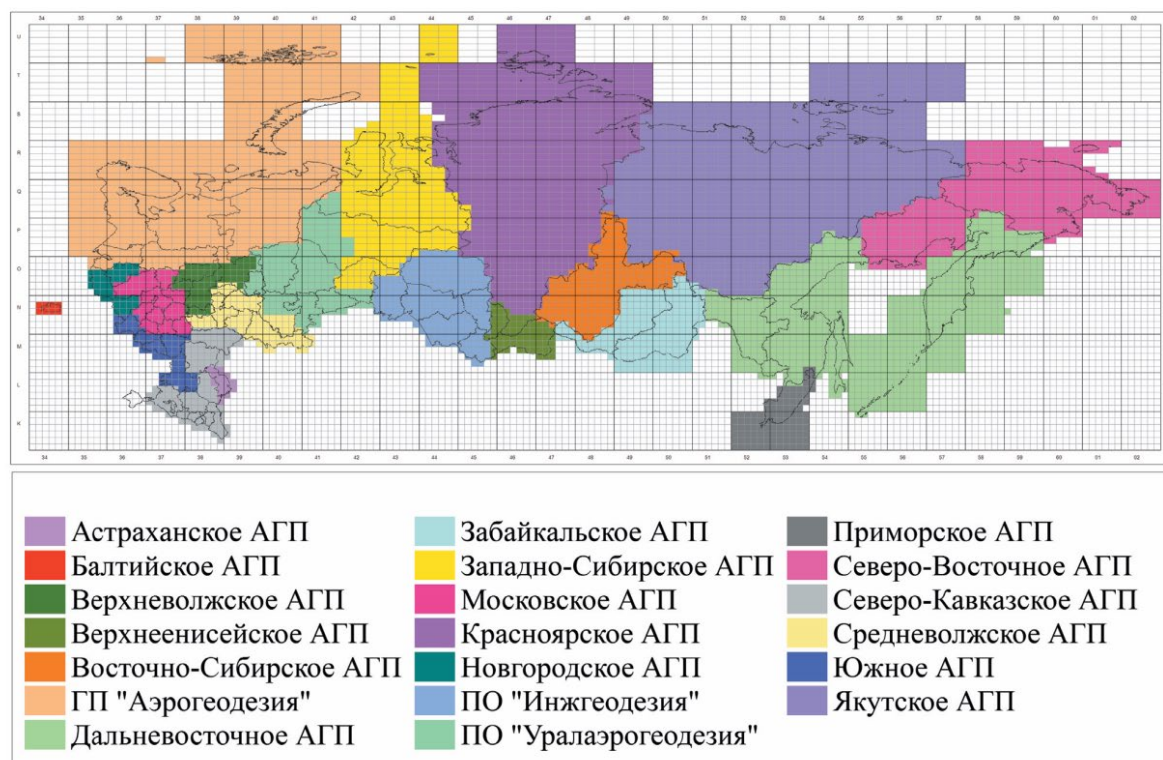


Рис. 1. Схема территорий деятельности (зон ответственности) аэрогеодезических предприятий в 1992–2012 гг.

На основе норм плотности размещения пунктов геодезических сетей и норм периодичности обновления топографических карт и планов была разработана Методика определения и расчета показателей деятельности Федерального агентства геодезии и картографии [16]. В соответствии с Методикой в число основных показателей, характеризующих деятельность Роскартографии входили:

- уровень обновления карт масштабов 1:25 000 – 1:1 000 000, соответствующих установленным нормам, (%);
- уровень плотности размещения пунктов государственных геодезических сетей относительно нормативного значения, (%).

Единичные показатели, характеризующие деятельность Роскартографии, рассчитывались на основе единичных показателей подведомственных Роскартографии производственных аэрогеодезических предприятий.

На основании Норм была составлена Схема периодичности обновления топографических карт, в которой установлены границы территорий Российской Федерации, относящиеся к нормам периодичности обновления: до 5, 10, 15 и до 20 лет (рис. 2).

Следует отметить, что Методика и Схема периодичности обновления уже не учитывали необходимость обновления государственных топографических карт масштаба 1:10 000 на экономически освоенные территории, территории повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также приграничные территории.

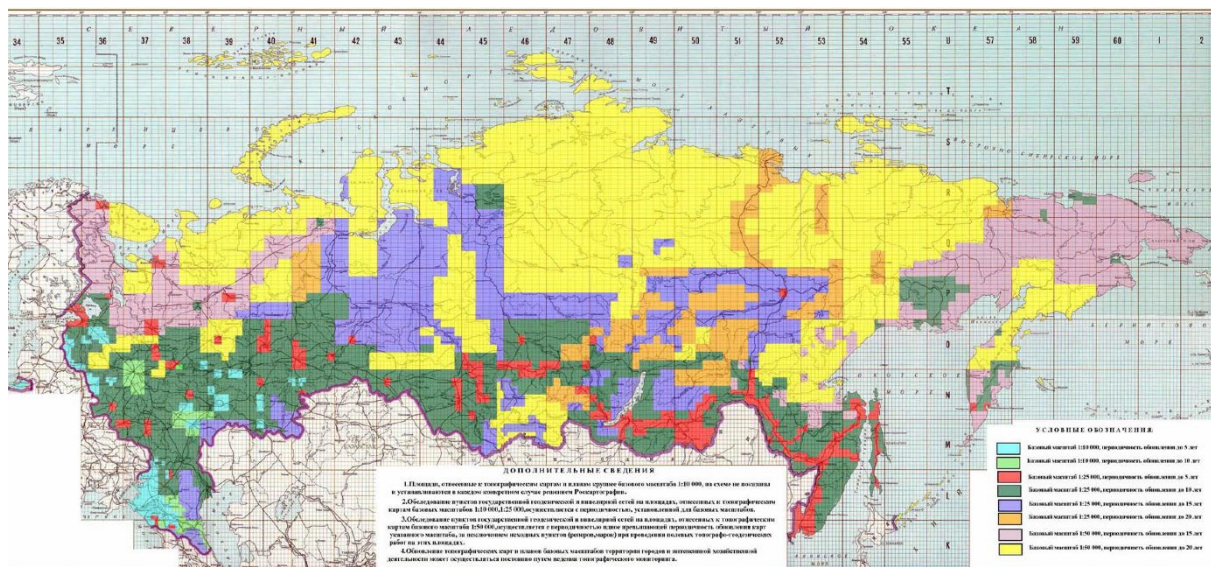


Рис. 2. Схема периодичности обновления топографических карт на территории Российской Федерации [16]

Определение уровня обновления топографических карт по каждому масштабу топографических карт основывается на относительном сопоставлении фактически достигнутого объема обновленных карт по данному масштабу в границах конкретной территории, с общим объемом топографических карт того же масштаба на той же территории. Уровень обновления топографических карт на территорию деятельности каждого предприятия рассчитывается по всему масштабному ряду топографических карт: 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000; 1:200 000; 1:500 000; 1:1 000 000.

Показатель «уровень обновления карт масштабов 1:25 000 – 1:1 000 000, соответствующих установленным нормам», указанный в Методике, для закрепленной территории деятельности предприятия определяется в процентах как отношение всего объема номенклатурных листов (НЛ) топографических карт, соответствующих нормам периодичности обновления, определенных по Scheme периодичности обновления топографических карт на территории Российской Федерации, к общему суммарному объему НЛ данного масштаба на территорию деятельности предприятия.

Показатель уровня обновления топографических карт конкретного масштаба на территорию деятельности каждого предприятия определяется по формуле:

$$y_{об-м} = \text{ОНЛ}_{н-м} / \text{ОНЛ}_м \cdot 100\%,$$

где $y_{об-м}$ – уровень обновления топографических карт конкретного масштаба на территорию деятельности каждого предприятия;

$\text{ОНЛ}_{н-м}$ – количество номенклатурных листов топографических карт конкретного масштаба на территорию деятельности предприятия, соответствующих нормам периодичности обновления;

$\text{ОНЛ}_м$ – общее количество номенклатурных листов того же масштаба на территорию деятельности предприятия.

Уровень обновления топографических карт на территорию Российской Федерации, соответствующих установленным нормам, рассчитывается как средневесовое значение частных показателей, полученных для территорий деятельности всех предприятий топографо-геодезического производства Роскартографии, по каждому масштабу топографических карт, включая: 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000; 1:200 000; 1:500 000; 1:1 000 000.

Показатель уровня обновления топографических карт территории Российской Федерации по всем масштабам 1:25 000 – 1:1 000 000 определяется по формуле:

$$y_{об-рф} = \frac{\left(y_{об-25} \cdot \text{ОНЛ}_{н-25} + y_{об-50} \cdot \text{ОНЛ}_{н-50} + y_{об-100} \cdot \text{ОНЛ}_{н-100} + \right. \\ \left. + y_{об-200} \cdot \text{ОНЛ}_{н-200} + y_{об-500} \cdot \text{ОНЛ}_{н-500} + y_{об-1млн} \cdot \text{ОНЛ}_{н-1млн} \right)}{(\text{ОНЛ}_{н-25} + \text{ОНЛ}_{н-50} + \text{ОНЛ}_{н-100} + \text{ОНЛ}_{н-200} + \text{ОНЛ}_{н-500} + \text{ОНЛ}_{н-1млн})},$$

где $y_{об-рф}$ – обобщенный уровень обновления топографических карт территории Российской Федерации по всем масштабам 1:25 000 – 1:1 000 000, %;

$y_{об-25}$, $y_{об-50}$, $y_{об-100}$, $y_{об-200}$, $y_{об-500}$, $y_{об-1млн}$ – уровень обновления топографических карт территории Российской Федерации по каждому масштабу топографических карт (1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000), %;

$\text{ОНЛ}_{н-25}$, $\text{ОНЛ}_{н-50}$, $\text{ОНЛ}_{н-100}$, $\text{ОНЛ}_{н-200}$, $\text{ОНЛ}_{н-500}$, $\text{ОНЛ}_{н-1млн}$ – общее количество номенклатурных листов топографических карт конкретного масштаба, соответствующих нормам периодичности обновления, территории Российской Федерации⁷.

Целевая государственная поддержка программы картографо-геодезических работ, а также соответствующие мировому уровню достижения отечественной геодезической науки стали основой для создания необходимых технических и инструментальных средств, развития высокопроизводительных методов аэрофототопографических съемки и высокоточных способов геодезических измерений, позволили осуществить картографирование территории Советского Союза пло-

⁷ Методика определения и расчета показателей деятельности Федерального агентства геодезии и картографии. Утверждена Приказом Федерального агентства геодезии и картографии от 1 марта 2006 г. № 12-пр. – Москва: ЦНИИГАиК, 2006. – 18 с.

щадью 22,4 млн. кв. км в масштабах 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, экономически развитых регионов в масштабе 1:10 000, а также создать топографические планы практически всех населенных пунктов в масштабах 1:5 000 и 1:2 000. При полном покрытии территории Российской Федерации государственными топографическими картами, наличии государственных топографических планов, в стране в конце 90-х годов имелся дефицит в современной, достоверной и точной топографо-геодезической и картографической информации [2, 22, 30].

Трудно переоценить значение целевой программы ведомства (ЦПВ) «Топографо-геодезическое обеспечение Российской Федерации на 2007-2009 годы» [35]. Реализация мероприятий ЦПВ совместно с мероприятиями подпрограммы «Создание высокоэффективной системы геодезического обеспечения Российской Федерации» ФЦП «Глобальная навигационная система» практически вытянула отрасль и всю систему топографо-геодезического обеспечения страны из того катастрофического положения, в котором из-за недостаточного финансирования находилась отрасль. Целевая программа включала такие основные мероприятия:

- создание и обновление государственных топографических карт и планов городов масштабов 1:10 000 - 1:25 000;
- создание и обновление государственных топографических планов масштабов 1:2 000 - 1:5 000;

Целевыми индикаторами и показателями этих мероприятий были:

- доведение уровня обеспечения потребностей органов государственной власти, обороны, безопасности, образования, науки и населения топографо-геодезической информацией, соответствующей современному состоянию местности, до 40% от нормативного, т.е. повышение этого уровня в 2,6 раза;
- доведение уровня наполнения достоверной картографической информационной базы до 45%, т.е. повышение этого уровня в 2,5 раза.

К сожалению, продления программы не было и дальше началась эпоха перемен, сопровождавшаяся приватизацией, дележом имущества, переподчинением картографо-геодезических фондов и тому подобными мероприятиями, не связанными с обновлением государственных топографических карт и планов.

На картограммах (рис. 3 - рис. 9), приведены сведения о государственных топографических картах масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 в аналоговом виде [19, 22, 29].

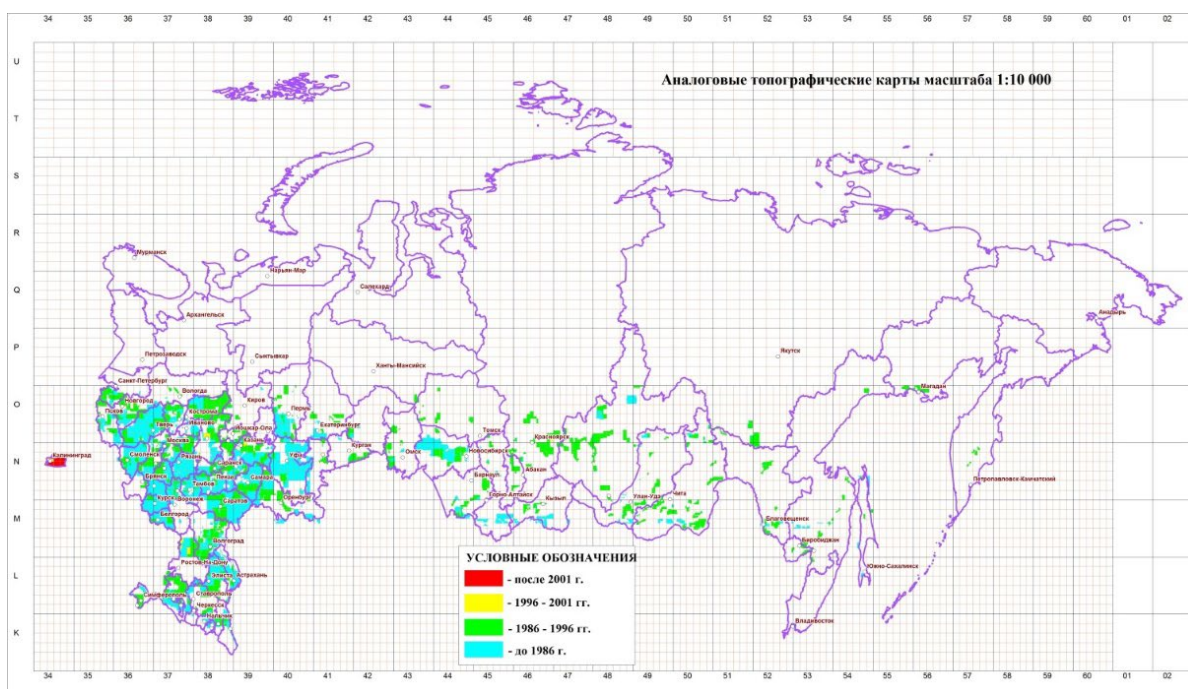


Рис. 3. Государственные топографические карты 1:10 000 в аналоговом виде [29]

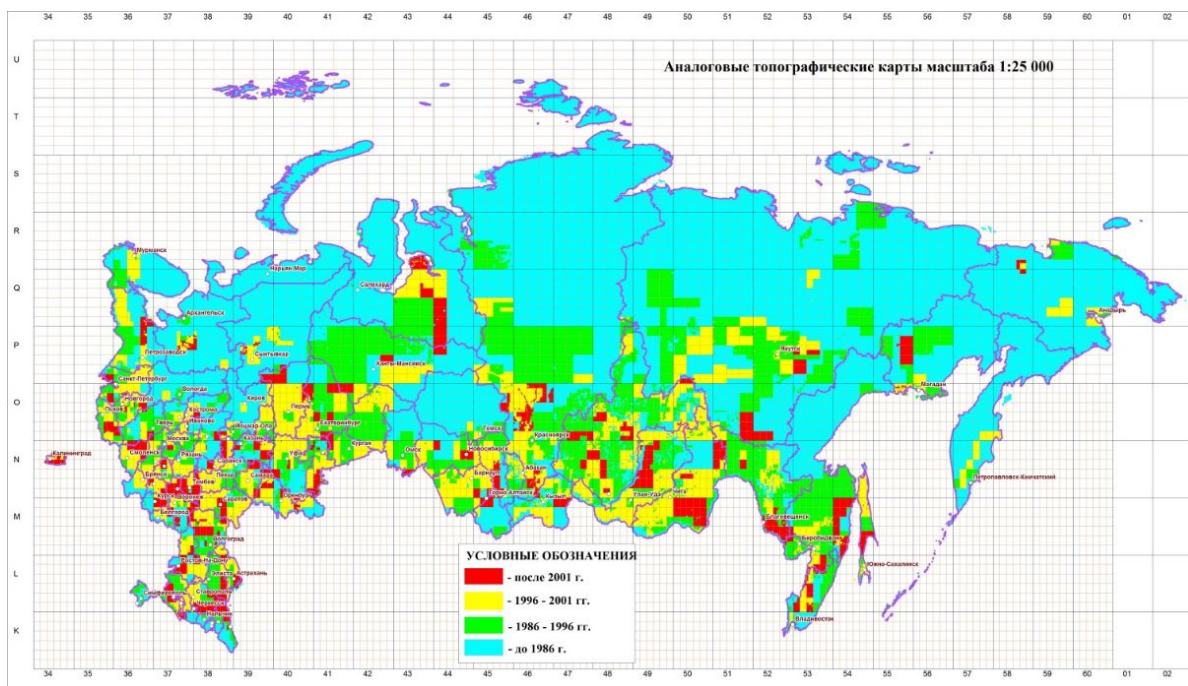


Рис. 4. Государственные топографические карты 1:25 000 в аналоговом виде [29]

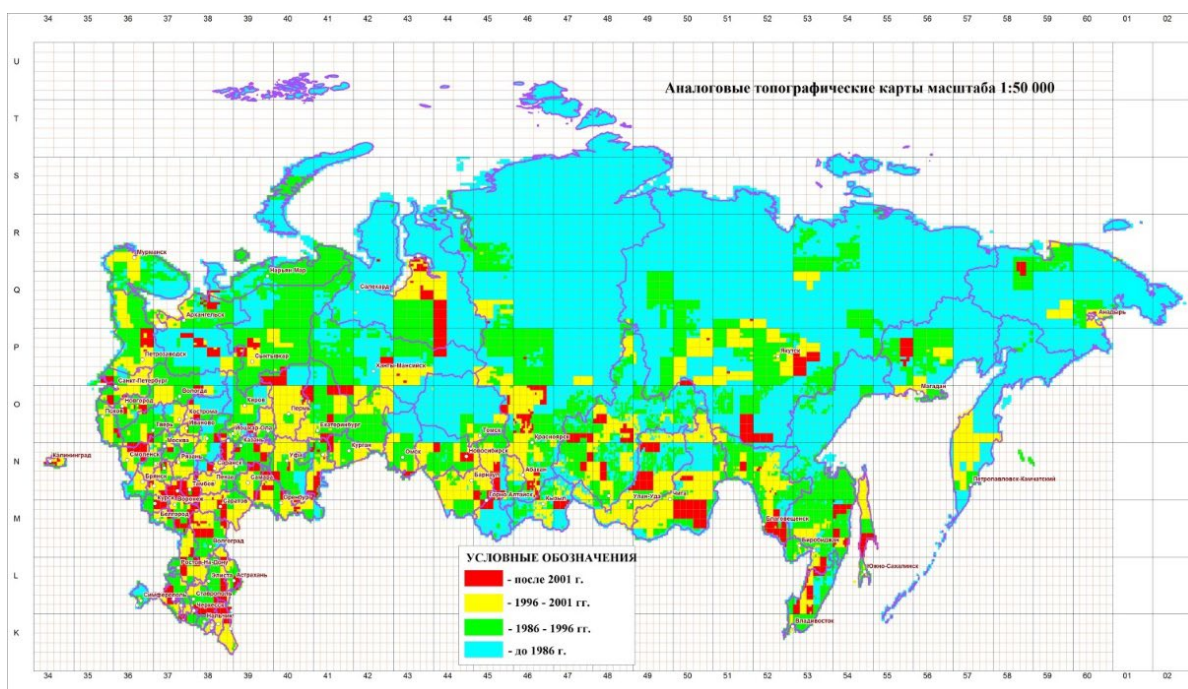


Рис. 5. Государственные топографические карты 1:50 000 в аналоговом виде [29]

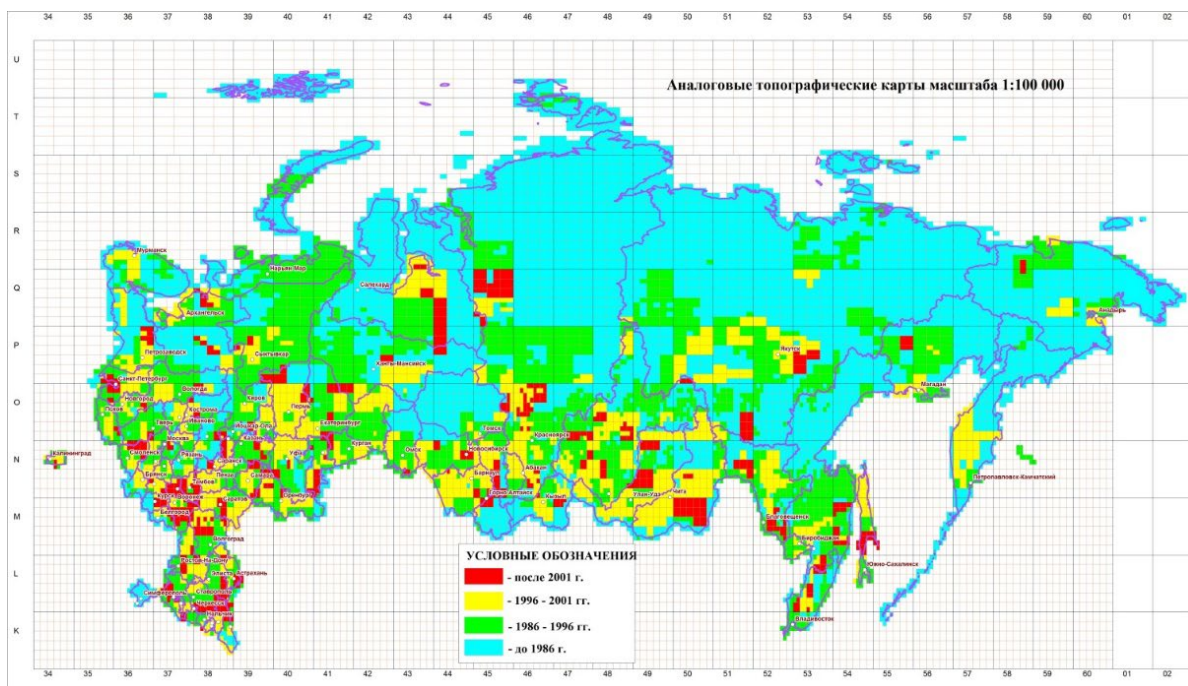


Рис. 6. Государственные топографические карты 1:100 000 в аналоговом виде [29]

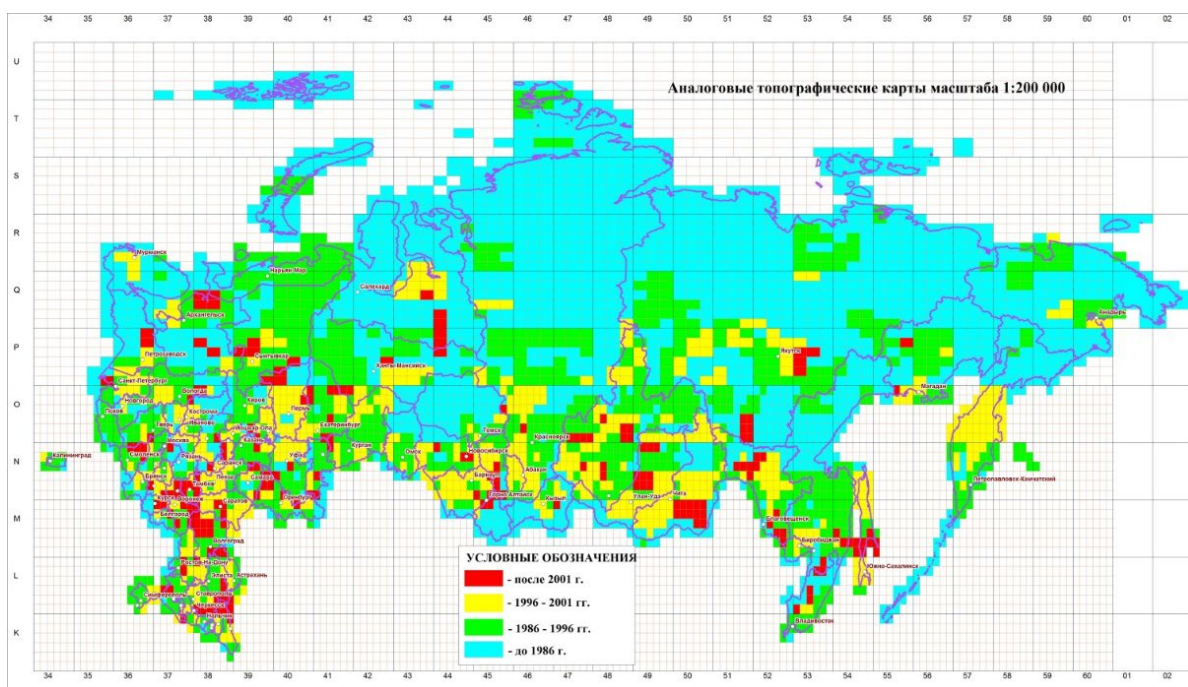


Рис. 7. Государственные топографические карты 1:200 000 в аналоговом виде [29]

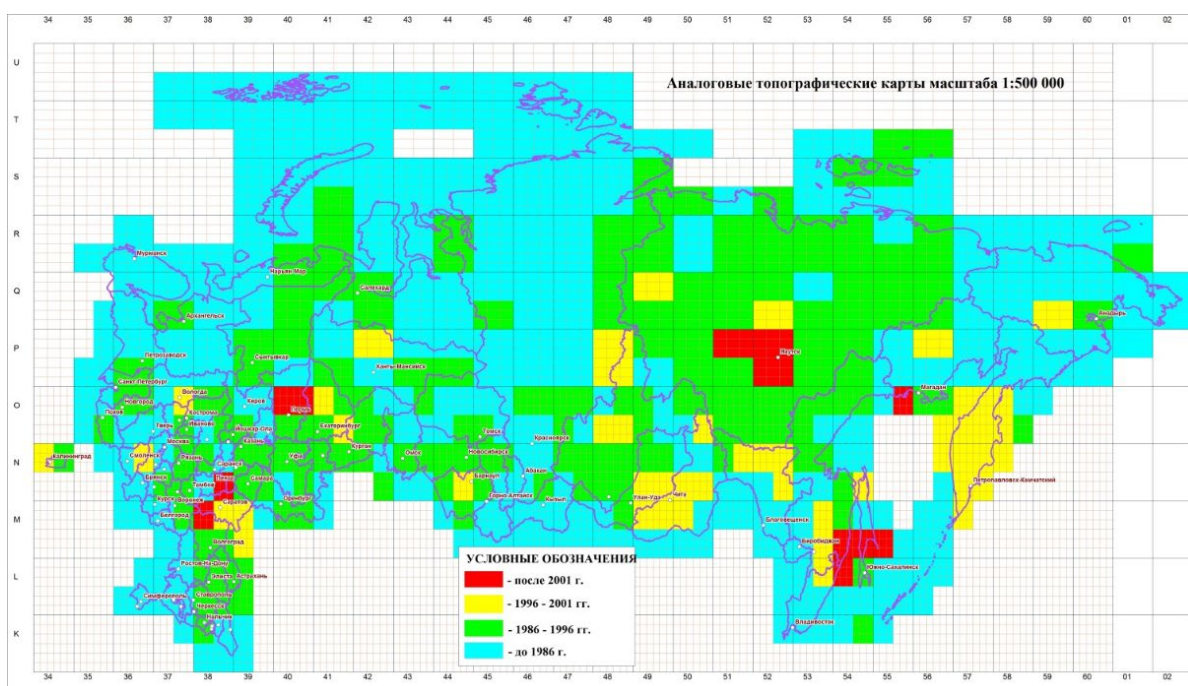


Рис. 8. Государственные топографические карты 1:500 000 в аналоговом виде [29]

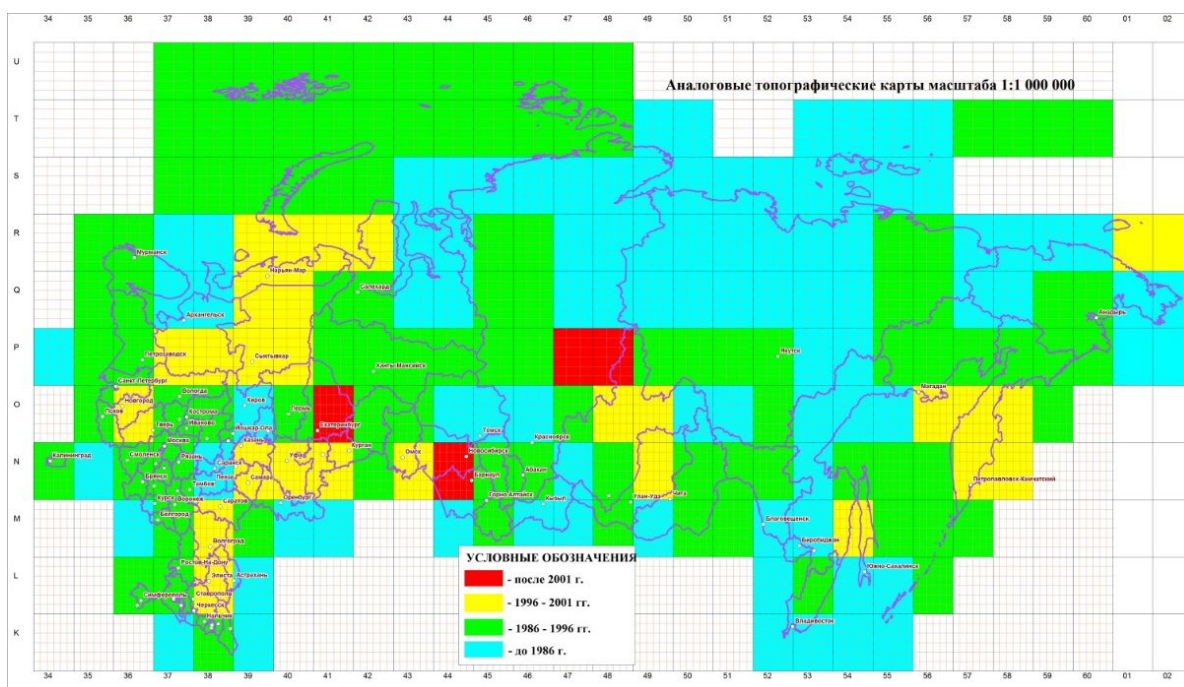


Рис. 9. Государственные топографические карты 1:1 000 000
в аналоговом виде [29]

Новая периодичность обновления государственных топографических карт и планов была установлена в 2016 году [25]. Периодичность обновления общегеографической карты масштаба 1:2 500 000 постановлением Правительства Российской Федерации не установлена. Из линейки масштабов государственных топографических карт и планов населенных пунктов по непонятным соображениям исчезли карты масштаба 1:500 000 и планы масштаба 1:5 000. Исключение из масштабного ряда двух масштабов, не самых затратных и не самых объемных, но хранящихся в Федеральном фонде пространственных данных и используемых потребителями геопространственных данных, в условиях отсутствия производственных технологий автоматической генерализации не приведет к значительной экономии средств и ресурсов, но создаст дополнительные трудности при реализации технологий мультимасштабных карт.

Требованиями к периодичности обновления государственных топографических карт установлено, что обновление государственных топографических карт и государственных топографических планов осуществляется в следующих случаях:

- государственные топографические карты и государственные топографические планы не соответствуют требованиям, предъявляемым к государственным топографическим картам и государственным топографическим планам, в том числе к точности государственных топографических карт и государственных топографических планов, утверждаемым Министерством экономического развития Российской Федерации по согласованию с Министерством обороны Российской Федерации в соответствии с частью 6 статьи 16 Федерального закона «О

геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»:

- изменение (появление, исчезновение) объектов и элементов местности требуют обновления государственных топографических карт и государственных топографических планов;

- степень изменения местности, отображенной на государственных топографических картах и государственных топографических планах, превышает 20 процентов площади государственной топографической карты и государственного топографического плана;

- обновление государственной топографической карты и государственного топографического плана не осуществлялось 10 лет.

Одновременно с этим Требованиями к периодичности обновления государственных топографических карт установлено, что периодичность обновления государственных топографических карт и государственных топографических планов определяется на основе оценки степени изменения местности по итогам анализа результатов аэросъемки, дистанционного зондирования Земли, информации, содержащейся в единой электронной картографической основе, Едином государственном реестре недвижимости и информационных системах обеспечения градостроительной деятельности, а также информации, содержащейся в государственных фондах пространственных данных.

Наиболее неопределенным показателем является «степень изменения местности», так как методика ее определения в нормативном акте [25] отсутствует.

Определение степени изменения местности на основе результатов аэросъемки, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и иной информации, подразумевает возможность и необходимость регулярного получения данных ДЗЗ на значительные территории с разрешающей способностью, близкой к детальности государственных топографических карт наиболее крупного масштаба, при этом периодичность аэрокосмической съемки должна быть не более 10 лет. Это приведет к необходимости получения, обработки, анализа и хранения больших объемов информации, значительно превышающих объем конечной продукции – государственных топографических карт, планов и единой электронной картографической основы.

В работе «Федеральные картографические работы: мониторинг, планирование, обновление» [6] на основании требований к периодичности обновления государственных топографических карт и государственных топографических планов [25] определен суммарный объем государственного картографического обеспечения Российской Федерации. В табл. 4 приведен объем государственного картографического обеспечения Российской Федерации в части государственных топографических карт и государственных топографических планов масштабов 1:2 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:1 000 000 и общегеографической карты масштаба 1:2 500 000.

Таблица 4 – Объем государственного картографического обеспечения Российской Федерации в 2014-2024 гг.

Масштаб	Период. обновл., лет	Территории	Общий объем		Ежегодный объем	
			Площадь, кв. км	НЛ	Площадь, кв. км	НЛ
1:2 000	10	Населенных пунктов	204 530	326 781	20 453	32 678
1:10 000	10	Населенных пунктов*	204 530		20 453	
1:10 000	10	С высокой плотностью населения**	1 496 961	91 051	149 696	9 105
1:25 000	10		1 496 961	27 484	149 696	2 748
1:50 000	10	Вся территория Российской Федерации	17 125 191	51 197	1 712 519	5 120
1:100 000	10		17 125 191	13 306	1 712 519	1 331
1:200 000	10		17 125 191	3 578	1 712 519	358
1:1 000 000	10		17 125 191	144	1 712 519	14
Итого				513 541		51 354
1:2 500 000		Вся территория Российской Федерации	17 125 191	1		

* планы населенных пунктов без разделения на номенклатурные листы

** территории с высокой плотностью населения утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 мая 2004 г. № 707-р

В 2024 году была установлена новая периодичность обновления государственных топографических карт и планов [26].

Объем государственного картографического обеспечения Российской Федерации в части государственных топографических карт и государственных топографических планов масштабов 1:2 000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 и общегеографической карты масштаба 1:2 500 000 в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации приведен в табл. 5.

Таблица 5 – Объем государственного картографического обеспечения Российской Федерации с 2024 г.

Масштаб	Период. обновл., лет	Территории	Общий объем		Ежегодный объем	
			Площадь, кв. км	НЛ	Площадь, кв. км	НЛ
1:2 000	3	Населенных пунктов	204 530	326 781	68 177	108 927
1:10 000	6	Населенных пунктов*	204 530		49 088	
1:25 000	6	С высокой плотностью населения**	1 496 961	91 051	249 494	15 175
1:50 000	10	Вся территория Российской Федерации	17 125 191	51 197	1 712 519	5 120
1:100 000	10		17 125 191	13 306	1 712 519	1 331
1:200 000	10		17 125 191	3 578	1 712 519	358
1:500 000	10		17 125 191	576	1 712 519	58
1:1 000 000	10		17 125 191	144	1 712 519	14
Итого***				514 117		130 983
1:2 500 000		Вся территория Российской Федерации	17 125 191	1		

* планы населенных пунктов без разделения на номенклатурные листы

****** в отношении территорий отдельных муниципальных районов в субъектах Российской Федерации, плотность населения в которых более чем в 3 раза выше средней плотности населения в Российской Федерации, территорий, на которые распространяется действие Федерального закона от 1 мая 2016 г. № 119-ФЗ, а также территорий опережающего социально-экономического развития, территорий крупных городских агломераций и крупнейших городских агломераций, территорий, в отношении которых предусмотрена реализация федеральных проектов и (или) программ

******* без учета планов населенных пунктов масштаба 1:10 000

Периодичность обновления общегеографической карты масштаба 1:2 500 000 постановлением Правительства Российской Федерации не установлена. Топографические планы масштаба 1:5 000 в состав государственных топографических карт и планов по-прежнему не включены.

Заключение

Резюмируя изложенное можно сделать выводы о неудовлетворительном состоянии государственных топографических карт и планов в части их современности, даже на приоритетные территории, об отсутствии методологии картографического обеспечения Российской Федерации. Работы по теории картографического обеспечения практически не востребованы [1, 3, 8, 10, 11, 12, 13, 34, 36 и др.].

Аналогичным образом можно оценить методологию геодезического обеспечения Российской Федерации. Нарастание количества пунктов спутниковых геодезических сетей ФАГС, ВГС, СГС-1, внезапная ориентация на коммерческий сектор спутниковых дифференциальных геодезических станций (СДГС) без серьезного научного обоснования и внятной стратегии развития системы геодезического обеспечения привело к стагнации. Попытки обосновать переход к динамической государственной системе координат и превращение единой государственной системы координат в бесконечное множество локальных, слабо связанных между собой, систем, образованных СГДС это сегодняшнее состояние.

Несостоявшаяся разработка «Стратегии развития сферы геодезии, картографии, пространственных данных и использования геоинформационных технологий до 2030 года и на перспективу до 2036 года», в соответствии с указанием Президента Российской Федерации от 18.05.2022 № Пр-856 [20] подтверждает острую необходимость методологических разработок системы картографического обеспечения Российской Федерации. Одной из первых должна быть «Методика определения и расчета показателей деятельности Росреестра в сфере геодезии и картографии».

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Межрегиональной общественной организации «Российское общество геодезии, картографии и землеустройства».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов Е. С. Геокогнитивные карты и технологии – новый этап в картографии // Вестник СГУГиТ, 2020, Том 25, № 2. С. 140-150. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-2-140-150

2. Бородко А. В. Картографо-геодезическая отрасль России: проблемы и решения. Геодезия и картография, 2003. № 7. С. 1-9.
3. Верещака Т. В. Специализированные топографические карты России и зарубежных стран. Их особенности и роль в обеспечении устойчивого развития территорий. Геодезия и картография, 2020. № 10. С. 28-39. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-964-10-28-39.
4. ГКИНП 05-050-77. Руководство по картографическим и картоиздательским работам. Часть 1. Составление и подготовка к изданию топографических карт масштабов 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000. Утверждено Начальником ГУГК при СМ СССР 12.04.1977 и Начальником ВТУ ГШ 31.05.1977. - Москва: РИО ВТС, 1978. – 131 с.
5. ГКИНП-05-029-84. Основные положения по созданию и обновлению топографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. Утверждены Начальником ВТУ ГШ и Начальником ГУГК при СМ СССР. - Москва: РИО ВТС, 1984. – 51 с.
6. Гоголева Е. Е. Федеральные картографические работы: мониторинг, планирование, обновление. Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки: Сборник материалов 3-й Совместной Международной научно-технической конференции, Сочи, 16–18 октября 2023 г. – Москва. Ракурс, 2023. С. 70-74.
7. ГОСТ Р 70846.2-2023 Национальная система пространственных данных. Термины и определения
8. Демиденко А. Г., Кириченко А. С., Кружков А. Е. Технология автоматизированной генерализации для создания мультимасштабных карт. Геопрофи, 2019. № 6. С. 16-19.
9. Исследование потребностей в картографической продукции и пространственных данных. Электронный ресурс: <https://forms.yandex.ru/cloud/6825e0e0f47e7367c60f87e8/> (дата обращения 31.03.2026)
10. Книжников Ю. Ф. Нужно ли менять парадигму топографического картографирования страны? Геодезия и картография, 2013. № 2. С. 51-52.
11. Кравец Е. А. Карты, «смена парадигмы» и ответы на пространственные вопросы. Геодезия и картография, 2013. № 6. С. 55-57.
12. Логинов Д. С. Картографическое обеспечение как процесс: концептуальная модель системы и ее применение // Геодезия и картография, 2026. № 2. С. 10-22. DOI: 10.22389/0016-7126-2026-1028-2-10-22
13. Логинов Д. С. Систематизация результатов и подходов к пониманию картографического обеспечения научно-производственной деятельности // Вестник СГУГиТ, 2025, Том 30, № 4. С. 75-87. DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-75-87
14. Мартынова Е. В. Направления формирования и обеспечения качества Национальной системы пространственных данных. Теория и практика общественного развития, 2023. № 4 (182). С. 109-114. DOI: 10.24158/tipor.2023.4.14.
15. Мартынова Е. В. Организационно-экономический механизм функционирования открытой среды Национальной системы пространственных данных. Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии, 2023. № 2. С. 154-158.
16. Методика определения и расчета показателей деятельности Федерального агентства геодезии и картографии. Утверждена Приказом Федерального агентства геодезии и картографии от 1 марта 2006 г. № 12-пр. – Москва: ЦНИИГАиК, 2006. – 18 с.
17. Нормы периодичности обновления государственных топографических карт и планов. Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 16 августа 2002 г. № 608.
18. Побединский Г. Г. Количественная оценка геопространственной информации для различных территорий. Великие реки'2020: Труды научного конгресса 22-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 27–29 мая 2020 г. Нижний Новгород. ННГАСУ, 2020. С. 226-231.

19. Побединский Г. Г. Реформы отечественной картографо-геодезической службы и качество государственных геопространственных данных. Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2019. № 1. С. 3-17. DOI: 10.33764/2618-981X-2019-1-1-3-17.
20. Побединский Г. Г. Стратегия упраздненной отрасли. Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки: Сборник материалов XXIV Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 22-25 сентября 2025 г. Москва. Ракурс, 2025. С. 20-29.
21. Побединский Г. Г., Прусаков А. Н. О критериях качества государственных геопространственных данных Российской Федерации. Россия: Тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 14. – Ч. 1. Москва. ИНИОН РАН, 2019. С. 190-197.
22. Побединский Г. Г., Прусаков А. Н., Протопопова И. В. Государственные геопространственные данные Российской Федерации. Вопросы создания и использования. Науки о Земле, 2017. № 1. С. 22-35.
23. Побединский Г. Г., Яблонский Л. И. О государственной политике в сфере геодезии, картографии, геопространственных данных и развитии системы обеспечения пространственными данными. Информационный бюллетень Российского общества геодезии, картографии и землеустройства. Выпуск 2. Москва: Российское общество геодезии, картографии и землеустройства, 2024. С. 4-12.
24. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2021 г. № 2148 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных»
25. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 ноября 2016 г. № 1174 (ред. от 07.09.2020) «Об установлении требований к периодичности обновления государственных топографических карт и государственных топографических планов, а также масштабов, в которых они создаются»
26. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 марта 2024 г. № 400 «Об утверждении Положения об обновлении государственных топографических карт и государственных топографических планов, а также масштабов, в которых они создаются»
27. Приказ Росреестра от 5 апреля 2022 г. № П/0122 «Об утверждении требований к составу сведений единой электронной картографической основы и требований к периодичности их обновления»
28. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 ноября 2023 г. № 3377-р (ред. от 02.10.2025) «Об утверждении перечня опорных населенных пунктов (муниципальных образований) Арктической зоны РФ»
29. Сводный отчет о результатах инвентаризации материалов и данных федерального картографо-геодезического фонда (ФКГФ) в 2013–2016 гг. / Е. Е. Бильдина, В. В. Давлятов, Г. Н. Егорчев, и др. Москва. Центр геодезии, картографии и ИПД, 2017. 192 с. + CD-ROM. ISBN 978-5-903547-08-1.
30. Топографо-геодезическое и картографическое обеспечение Российской Федерации. Состояние и перспективы развития отрасли геодезии и картографии. / И. В. Васильев, А. В. Коробов, Г. Г. Побединский, А. Б. Приданкин // Геодезия и картография. – 2014. – № 12. – С. 2-11. – DOI: 10.22389/0016-7126-2014-894-12-2-11
31. Указ Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 (ред. от 05.03.2020) «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации»
32. Федеральный закон от 1 мая 2016 г. № 119-ФЗ (ред. от 31.07.2025) «Об особенностях предоставления гражданам земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности и расположенных в Арктической зоне Российской Федерации и на других территориях Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

33. Федеральный закон от 13 июля 2020 г. № 193-ФЗ (ред. от 21.04.2025) «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации»

34. Фонарёв В. М., Яблонский Л. И. О создании новой Единой системы государственных карт Российской Федерации. Геодезия и картография, 2015. № 7. С. 24-30. DOI: 10.22389/0016-7126-2015-901-7-24-30

35. Целевая программа ведомства «Топографо-геодезическое обеспечение Российской Федерации на 2007 - 2009 годы». Утверждена приказом Минтранса России от 13 августа 2007 г. № 120

36. Яблонский Л. И. Зарубежная оценка советских топографических карт как показатель профессиональной образовательной подготовки. Геодезия и картография, 2022. № 9. С. 57-64. DOI: 10.22389/0016-7126-2022-987-9-57-64

© Г. Г. Побединский

СОДЕРЖАНИЕ

1. И. Т. Андреев, А. А. Гребенников. Применение комбинированного метода съемки для маркшейдерского обеспечения добычи руды способом подход-отход.....	3
2. В. С. Беляков, М. А. Алтынцев. Анализ методов определения границ дорожного покрытия автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования	11
3. Д. В. Бирюков. Совершенствование методики метрологической поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка»	22
4. Л. Е. Сердаков, Н. А. Борщ, К. В. Паульзин. Геодезическое сопровождение установки в проектное положение гирдерных модулей накопителя СКИФ	28
5. А. С. Горилько, Н. М. Рябова, К. С. Мандаева. Методика деформационного мониторинга особо опасного и технически сложного инженерного сооружения.....	35
6. А. А. Гребенников, И. Т. Андреев. Исследование точности определения объема штабеля сыпучих материалов способом мобильного лазерного SLAM сканирования.....	41
7. Р. Е. Калиакпаров. Выбор метода съёмки и определение объёмов рудных складов различной фракции	48
8. Р. Е. Калиакпаров. Исследование влияния разрежения облака точек на точность вычисления объёма каркасной модели.....	54
9. Р. Е. Калиакпаров. Методика определения геометрических параметров веерных скважин	63
10. Р. Е. Калиакпаров. Применение мобильного лазерного сканирования для контроля соответствия паспорту бурения веерных скважин.....	69
11. В. С. Крапивин, П. П. Мурзинцев, Л. Е. Сердаков. Геодезическое сопровождение монтажа Сибирского Кольцевого Источника Фотонов в тоннеле ускорительного комплекса.....	76
12. Э. Н. Кучменко. Маркшейдерский контроль деформаций при закладке выработанного пространства.....	86
13. Е. В. Минченко. Геодезическое обеспечение создания цифрового двойника на основе технологии 3DGS для объектов инженерной инфраструктуры	95
14. Е. В. Минченко. Совершенствование методики создания цифрового инженерно-топографического плана с интеграцией 3DGS-модели	102
15. М. В. Мурзинцева. Применение модуля искусственного интеллекта для автоматического анализа территории изысканий.....	108
16. М. В. Мурзинцева. Методика формирования цифрового двойника на основе данных инженерно-геодезических изысканий.....	114

17. М. В. Мурзинцева, Н. М. Рябова. Факторы, определяющие методику инженерно-геодезических изысканий при трассировании инженерных сетей..	120
18. Я. А. Некрестов. Методика визуального позиционирования для подсчета объемов сыпучих материалов	125
19. Я. А. Некрестов. Разработка методики определения точности измерений приборами с визуальным позиционированием	130
20. Я. А. Некрестов. Разработка эталонного полигона для верификации точности визуального позиционирования	133
21. Д. Б. Новоселов. Опыт обследования гидроэлектростанции с применением наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования.....	137
22. В. И. Сергунцов. Создание геодезической разбивочной основы при реконструкции аэропортов	145
23. В. Е. Терещенко, В. А. Машинец, В. В. Дубинин. Разработка мобильного приложения для повышения эффективности выполнения геодезических работ.....	149
24. Н. Н. Яковлев, Д. Г. Назаров. Применение наземного лазерного сканирования при оценке деформаций внутренней защитной оболочки реакторного здания	157
25. Н. Д. Яковлева, М. Я. Брынь. Определение и оценка точности объёмов объектов недвижимости, представленных тетраэдральной и призматической 3D-моделью	165
26. Г. Г. Побединский. Предложения по совершенствованию методологии геодезического и картографического обеспечения Российской Федерации	170

CONTENTS

1. I. T. Andreev, A. A. Grebennikov. Application of a combined survey method for mine surveying during approach-and-retreat mining.....	3
2. V. S. Belyakov, M. A. Altyntsev. A comparative analysis of methods for road pavement boundary detection based on mobile laser scanning data.....	11
3. D. V. Birykov. Improvement of the methodology of metrological verification of the "digital level – barcode rail" system.....	22
4. L. E. Serdakov, N. A. Borshch, K. V. Paulzin. Geodetic surveying support for the installation of the SKIF storage ring girder modules into their design position.	28
5. A. S. Gorilko, N. M. Ryabova, K. S. Mandeeva. The method of deformation monitoring of a particularly dangerous and technically complex engineering structure	35
6. A. A. Grebennikov, I. T. Andreev. Research on the accuracy of determining the volume of a pile of loose materials using mobile laser SLAM scanning.	41
7. R. E. Kaliakparov. Selection of survey method and volume determination of ore stockpiles with different fractions.....	48
8. R. E. Kaliakparov. Study of point cloud resolution for accuracy of wireframe model volume calculation	54
9. R. E. Kaliakparov. Method for determining geometric parameters of fan wells	63
10. R. E. Kaliakparov. Using a local laser device to control compliance with the drilling passport of fan wells.....	69
11. V. S. Krapivin, P. P. Murzintsev, L. E. Serdakov. Geodetic Support for the Installation of the Siberian Circular Photon Source in the Accelerator Complex Tunnel	76
12. E. N. Kuchmenko. Mine surveying control of deformations during backfilling of mined-out space.....	86
13. E. V. Minchenko. Geodetic Support for Creating a Digital Twin Based on 3DGS Technology for Engineering Infrastructure Facilities.....	95
14. E. V. Minchenko. Improvement of the Methodology for Creating a Digital Engineering Topographic Plan with Integration of a 3DGS Model.....	102
15. M. V. Murzintseva. Application of the artificial intelligence module for automated site analysis during engineering surveys	108
16. M. V. Murzintseva. Methodology of building a longitudinal profile of underground utilities during engineering surveys.....	114
17. M. V. Murzintseva, N. M. Ryabova. Factors influencing the methodology of engineering and geodetic surveys for engineering network routing	120

18. Y. A. Nekrestov. Visual positioning method for calculating the volume of bulk materials	125
19. Y. A. Nekrestov. Development of methods for determining the accuracy of measurements using visual positioning devices.....	130
20. Y. A. Nekrestov. Development of methods for determining the accuracy of measurements using visual positioning devices.....	133
21. D. B. Novoselov. Experience in surveying a hydroelectric power plant using a terrestrial laser scanner and information modeling technologies.....	137
22. V. I. Serguncov. Establishing a Geodetic Layout Basis during Airport Reconstruction.....	145
23. V. E. Tereshchenko, V. A. Mashinec, V. V. Dubinin. Development of a Mobile Application to Improve the Efficiency of Geodetic Works.....	149
24. Nikolai N. Iakovlev, Denis G. Nazarov. Application of ground-based laser scanning in the assessment of deformations of the inner protective shell of the reactor building.....	157
25. N. D. Yakovleva, M. Ya. Bryn. Definition and accuracy assessment of volumes of real estate objects represented by tetrahedral or prismatic 3D models	165
26. G. G. Pobedinsky. Proposals for improving the methodology of geodetic and cartographic support of the Russian Federation	170

Научное издание

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXII Международный научный конгресс

Сборник материалов в 9 т.

Т. 1

Международная научная конференция

**«ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ»**

№ 1

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *Я. А. Лесных*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 05.08.2026. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 11,39. Тираж 25 экз. Заказ 137.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Издательско-полиграфический центр СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 8.