

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

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXI Международный научный конгресс

Сборник материалов в 8 т.

Т. 1

Международная научная конференция

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

№ 1

Новосибирск
СГУГиТ
2025

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 кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
В. А. Скрипников

Доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии
Карагандинского государственного технического университета,
Республика Казахстан, г. Караганда
Ф. К. Низаметдинов

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXI Международный научный конгресс, 21–
22 мая 2025 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международ-
ная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, марк-
шейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. № 1 – 193 с. – ISSN 2618-981X. –
Текст : непосредственный.

DOI 10.33764/2618-981X-2025-1-1

В сборнике опубликованы материалы XXI 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

УДК 528

© СГУГиТ, 2025

В. С. Беляков^{1✉}, М. А. Алтынцев¹

Автоматизация процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог

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

Аннотация. Рассматривается необходимость и актуальность автоматизации процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог. Анализируется нормативная документация: ГОСТ 33388-2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации» и ГОСТ Р 71360-2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Технический учет и паспортизация. Общие технические требования». Представлены существующие методы ведения паспортизации и технического учета автомобильных дорог. Разобраны перспективные методы и средства автоматизации. Определена экономическая целесообразность. Разработана методика распознавания точек лазерных отражений, принадлежащих дорожной разметке. Методика исследована на примере данных мобильного лазерного сканирования, полученных для автомобильной дороги системой Riegl VMX-250. В заключении были сделаны выводы, согласно которым необходимо повысить уровень автоматизации процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог.

Ключевые слова: паспортизация, технический учет, автомобильные дороги, геодезия, автоматизация, мобильное лазерное сканирование, дорожная разметка

V. S. Belyakov^{1✉}, V. A. Altyntev¹

Automation of the process of certification and technical accounting of motor roads

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

Abstract. The necessity and relevance of automation for the process of certification and technical accounting of roads are considered. The regulatory documentation is analyzed: GOST 33388-2015 "Automobile roads of the general use. Requirements to conducting diagnostics and certification" and GOST R 71360-2024 "Automobile roads of general use. Technical accounting and passportization. General technical requirements". The existing methods of maintaining certification and technical accounting of roads are presented. Promising methods and means of automation are analyzed. Economic feasibility is determined. The technique for automatic recognition of road marking laser points is working out. The technique was analyzed for mobile laser scanning data obtained with Riegl VMX-250 system for roads. In conclusion, the authors draw conclusions according to which it is necessary to increase the level of automation of the process of passportization and technical accounting of motor roads.

Keywords: certification, technical accounting, roads, automation, mobile laser scanning, road marking

Введение

На сегодняшний день автодорожный транспорт является самым используемым видом транспорта в мире [1]. Он применяется для перевозки пассажиров и грузоперевозок по автомобильным дорогам.

Автомобильная дорога – это линейное сооружение, предназначенное для обеспечения автомобильного транспорта путями сообщения. Согласно данным, приведенным в [2], на 2025 год в России построено более 1,5 млн км автомобильных дорог (учитываются как асфальтированные, так и грунтовые) и продолжается строительство новых.

При такой протяженности дорог необходимо иметь карту дорожной сети для ориентирования и учета возможности проезда транспортного средства, чтобы наилучшим образом спланировать свое перемещение. Также при высокой интенсивности движения дорожного транспорта по автомобильным дорогам, последние со временем начинают разрушаться, и необходимо проводить ремонт с предварительным планированием. Для этих целей ведется паспортизация и технический учет автомобильных дорог.

Паспортизацией автомобильных дорог называют такой процесс, при котором происходит сбор сведений об автомобильной дороге для составления ее паспорта. При техническом учете дорога получает свой идентификационный номер в целях систематизации данных.

Такой процесс занимает много времени и сил, а так как протяженность автомобильных дорог только растет, то периодическая паспортизация и технический учет будут только усложняться. Это приводит к необходимости автоматизации данного процесса для сокращения временных и трудовых затрат.

Материалы и методы

Все работы по паспортизации и техническому учету делятся на 4 этапа:

- подготовительный;
- полевой;
- камеральный;
- заключительный.

На подготовительном этапе происходит получение и анализ имеющихся сведений об объекте, а также планирование предстоящих работ.

В процессе выполнения полевого этапа происходит непосредственный сбор данных о местности. Существует множество различных средств и методов сбора данных о местности, выбор которых зависит от различных факторов, к которым относятся:

- вид данных;
- требуемая точность;
- скорость сбора данных;
- объем данных;
- внешние условия сбора данных;
- требования к количеству и квалификации исполнителей;
- стоимость оборудования и самих работ.

При выполнении камеральных работ производится анализ данных, полученных на предыдущих этапах, и определение необходимых параметров для создания паспорта автомобильной дороги.

На заключительном этапе производится заполнение паспорта в установленной форме и подготовка отчетной документации для заказчика.

В зависимости от множества факторов процесс паспортизации и технического учета может занимать довольно продолжительное время.

Существует определенная периодичность проведения паспортизации и технического учета. Согласно ГОСТ Р 71360-2024 «Дороги автомобильные общего пользования. Технический учет и паспортизация. Общие технические требования», паспортизацию и технический учет автомобильных дорог делят на – первичный, повторный и текущий.

Первичную паспортизацию и технический учет необходимо проводить в течение шести месяцев после введения автомобильной дороги в эксплуатацию или при обнаружении дороги, для которой ранее паспортизацию и технический учет не проводили.

Повторную паспортизацию и технический проводят не реже одного раза в пять лет.

Текущую паспортизацию и технический проводят в случае необходимости, а ее результаты вносят один раз в год по состоянию на 1 января.

Соответственно присутствует необходимость в грамотном планировании проведения паспортизации и технического учета.

Согласно ГОСТ 33388-2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации» техническому учету и паспортизации подлежат внешние элементы дороги, геометрические параметры элементов дороги (ширина проезжей части, угол поворота и т.д.), дорожные и защитные сооружения, объекты дорожного и придорожного сервисов, план и продольный профиль, а также техническое состояние дороги и оценка соответствия требованиям нормативных актов. Для определения каждого типа параметров дороги существуют свои средства и методы по их определению, а также нормативные требования к ним.

На текущий момент известны следующие средства и методы для получения геометрических параметров автомобильной дороги с целью паспортизации и технического учета (ГОСТ Р 71360-2024), указанные в таблице 1.

Таблица 1

Средства и методы для получения геометрических параметров автомобильной дороги

Определяемый параметр	Используемые приборы и оборудование
Протяженность автомобильной дороги (участка)	Передвижная дорожная лаборатория, лазерное сканирование
Координаты	Передвижная дорожная лаборатория, оборудование ГНСС, тахеометр, лазерное сканирование
Местоположение точек начала и конца автомобильной дороги (участка)	Оборудование ГНСС, тахеометр
Параметры геометрических элементов автомобильных дорог (за исключением ИССО)	Мерные ленты, рулетки, мерные колеса, дальномеры, лазерное сканирование, программные продукты для определения линейных размеров с видеоряда передвижной дорожной лаборатории

Параметры геометрических элементов ИССО	Мерные ленты, рулетки, мерные колеса, дальномеры, лазерное сканирование
Продольные уклоны	Передвижная дорожная лаборатория, нивелир, теодолит, лазерное сканирование
Поперечные уклоны	Передвижная дорожная лаборатория, нивелир, дорожная рейка, уровень, теодолит, лазерное сканирование
Радиусы кривых в плане	Передвижная дорожная лаборатория, теодолиты, электронные тахеометры, лазерное сканирование
Продольная ровность	Профилометр, дорожная рейка с клиновым промерником, нивелир, лазерное сканирование
Поперечная ровность (колейность)	Передвижная дорожная лаборатория, дорожная рейка с клиновым промерником, лазерное сканирование

Все указанные средства и методы также различаются по времени их применения и стоимости. Частота применения каждого метода для одной съемки может различаться в зависимости от текущей ситуации на дороге. Поэтому, для определения точного времени и стоимости, производят планирование работ. В результате планирования определяются предстоящие финансовые и временные затраты, которые зависят от различных факторов:

- имеющиеся сведения о дороге;
- расположение дороги;
- сложность дороги;
- состояние дороги (ее целостность);
- требования заказчика;
- возможности организации-исполнителя (наличие современного оборудования, количество работников и уровень их квалификации, текущая загруженность и т.д.).

Стоимость проведения паспортизации может быть различной. Для примера можно привести компании ООО «ЛотосГЕО» [3] и «Контодор» [4], которые предлагают провести паспортизацию автомобильной дороги за 5000 и 7000 руб/км соответственно.

Время, которое тратят на весь процесс сильно варьируется и может занимать от 1 недели до нескольких месяцев или даже лет в зависимости от перечисленных факторов.

Для сокращения временных, трудовых и, соответственно, финансовых затрат необходимо автоматизировать существующие работы по паспортизации и техническому учету автомобильных дорог.

Автоматизация осуществляется посредством введения новых, более современных технических средств (оборудования) и методов (программ).

Также автоматизация повышает безопасность исполнителя и избавляет от необходимости в наличии большого числа работников с высокой квалифика-

цией, т.к. деятельность человека в проведении работ переходит к роботу, который выполняет все сложные вычисления, определения и принимает физическую нагрузку на себя, а задачей человека становится контроль самого робота на случай возникновения каких-либо неисправностей или допущения ошибок. Для каждого из перечисленных этапов можно выделить свои возможные методы по автоматизации.

Наиболее современным методом съемки с целью автоматизации процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог для получения их геометрических параметров является мобильное лазерное сканирование (МЛС). МЛС относится к группе методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Методы ДЗЗ позволяют получать большой объем данных за короткий промежуток времени. Среди методов ДЗЗ для решения задачи паспортизации также находят применение методы стереофотограмметрической фотосъемки: наземная, космическая и аэрофотосъемка. По данным космической фотосъемки определяют местоположение дорог, а также некоторые геометрические параметры.

Для осуществления полевых работ также могут применять роботизированные приборы, которые способны самостоятельно анализировать окружающую обстановку (температуру воздуха, влажность, освещенность и т. д.), устанавливать соответствующие настройки и производить съемку. Также ведутся разработки по созданию оборудования, которое может самостоятельно производить собственное перемещение по объекту [5, 6].

На этапе камеральных работ для ускорения процесса обработки данных применяется современное специализированное программное обеспечение (ПО), позволяющее автоматизировано определять искомые параметры.

Основная задача автоматизации на этапе камеральной обработки состоит в распознавании элементов дороги по собранным данным и определению необходимых параметров.

Одним из элементов дороги, по которому можно определить отдельные параметры дороги, является ее разметка. Исследования по определению дорожной разметки по данным лазерного сканирования проводились в многих работах, например в [10] и [11]. Самой распространенной информацией, по которой определяется дорожная разметка, является интенсивность ее точек лазерных отражений (ТЛО) [12].

На возможность и точность автоматизированного определения дорожной разметки негативное влияние оказывают следующие факторы:

- повреждения дорожного полотна;
- повышенная загрязненность;
- разрывы или отсутствие линии разметки дороги;
- наличие мертвых зон на откосах [7];
- наличие растительности, попавшей в поле зрения сканера [8];
- и т.д.

Для ослабления влияния перечисленных выше факторов можно использовать различные математические алгоритмы и разрабатывать соответствующие

методики. На рис. 1 приведена разработанная методика распознавания дорожной разметки по данным МЛС.



Рис. 1. Методика распознавания дорожной разметки по данным МЛС

Разработанная методика включает несколько методов распознавания и классификации [9]. Для исключения точек, находящихся на расстоянии более половины ширины дороги перпендикулярно направлению движения системы МЛС в

плановом положении с правой стороны, используется метод классификации по центральной линии, для которого за центральную линию принята траектория, от которой берутся расстояния с двух сторон в плане в пределах задаваемого ограничения по высоте.

Классификация земной поверхности производится через метод классификации земли, реализованного через алгоритм Аксельсона [13].

Проецирование траектории на земную поверхность реализуется посредством опускания линейного элемента на классифицированные точки земли.

Классификация горизонтальных поверхностей выполняется на основе применения информации о вычисленных векторах нормалей. Анализируются максимальные отклонения единичного вектора от вертикали.

При классификации точек по высоте относительно траектории движения системы МЛС исключаются ТЛО, высота которых больше задаваемого пользователем значения.

Повторная классификация относительно траектории производится через метод классификации по центральной линии, в котором исключаются точки, находящиеся с правой стороны от траектории движения системы МЛС на заданном расстоянии в плане и при заданном изменении высоты.

Для классификации точек по интенсивности пользователем в результате интерактивного анализа задается подходящий диапазон значений. Для этого пользователем сравнивается интенсивность дорожной разметки и дорожного полотна (без дорожной разметки) участка дороги.

Исключение изолированных точек производится через метод классификации изолированных точек, для которого задаются радиус поиска и минимальное количество рядом стоящих точек. Значения параметров определяются эмпирически.

После распознавания точек, принадлежащих дорожной разметке, производится векторизация ее границ для получения искомых параметров. Для этого ТЛО дорожной разметки предварительно могут быть сконвертированы в растровый формат [14].

Результаты

Для исследования методики распознавания дорожной разметки были применены данные МЛС, полученные с помощью системы Riegl VMX-250 на участок автомобильной дороги – улица Бориса Богаткова г. Новосибирск (рис. 2).



— траектория движения системы МЛС

Рис. 2. Исходный массив ТЛО в режиме отображения по интенсивности

Для классификации точек, принадлежащих дорожной разметке, сначала выполнялось исключение точек, находящихся на расстоянии более половины ширины дороги, равной 10 м, перпендикулярно направлению движения системы МЛС в плановом положении, в результате чего сразу исключался большой объем данных (рис. 3). При классификации от центральной линии задавалось ограничение по высоте в интервале от минус 2 м до 0 м с целью исключить точки, которые не принадлежат дорожному полотну.

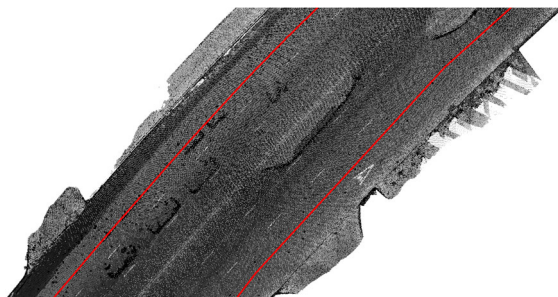


Рис. 3. Результат исключения лишних данных

Далее производилась классификация земли. В результате были получены точки, принадлежащие земной поверхности (рис. 4).

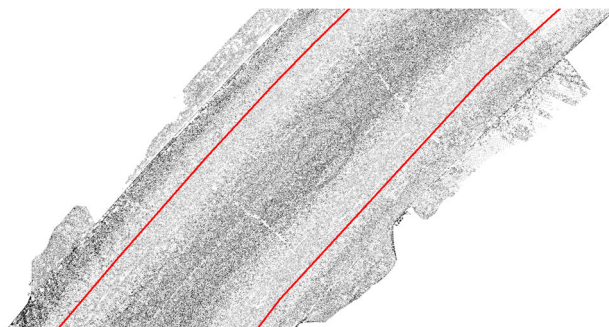


Рис. 4. Земная поверхность

Затем выполнялось проецирование траектории на земную поверхность. На рис. 5 и 6 показаны линия траектории и земная поверхность до проецирования и после проецирования соответственно.

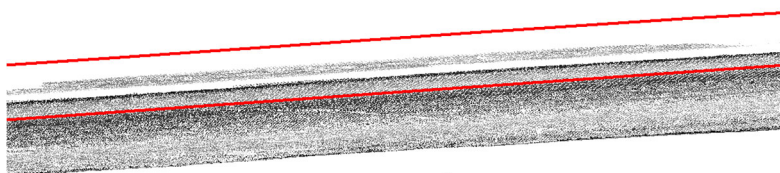


Рис. 5. Земная поверхность до проецирования

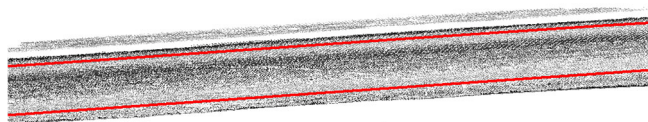


Рис. 6. Земная поверхность после проецирования

После проецирования траектории на земную поверхность выполнялось вычисление векторов нормалей относительно вертикальной оси. На рис. 7 показан массив ТЛО, отображенный в режиме по значениям векторов нормалей.

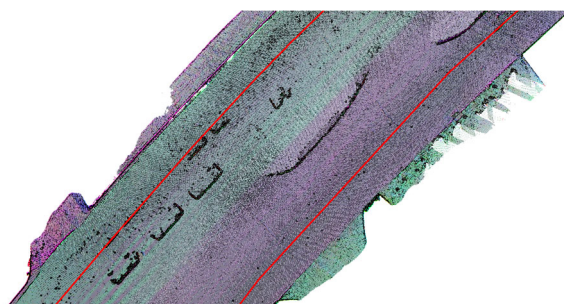


Рис. 7. Массив ТЛО в режиме отображения по значениям векторов нормалей

Далее производилось вычисление расстояний по высоте от земной поверхности до других точек. Для этого оптимальный диапазон расстояний находится в интервале от 0,020 м до 0,500 м. В результате чего исключаются все точки, которые расположены выше дорожного полотна.

На рис. 8 показан массив ТЛО в режиме отображения по высоте от уровня поверхности земли

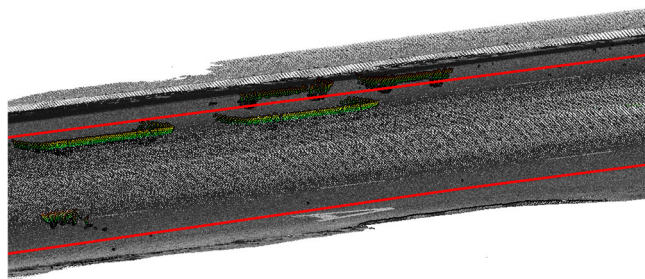


Рис. 8. Массив ТЛО в режиме отображения по высоте от уровня поверхности земли

Дальнейшая классификация массива ТЛО выполнялась относительно вычисленных векторов нормалей. Задавалось допустимое отклонение вектора нормали от вертикального направления, равное 4° . В результате исключались поверхности, не принадлежащие горизонтальной плоскости. На рис. 9 показано вертикальное сечение дороги, бордюра и тротуара до классификации и после нее.



Рис. 9. Вертикальное сечение бордюра:
а) до классификации; б) после классификации

Потом производилось исключение точек по высоте относительно уровня земной поверхности и исключение точек по высоте относительно траектории движения системы МЛС, в результате чего исключались точки, находящиеся выше дорожного полотна (рис. 10).

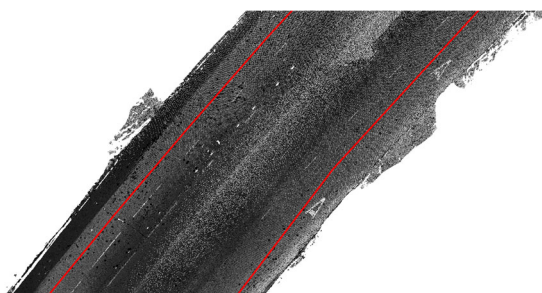


Рис. 10. Дорожное полотно

Затем выполнялась классификация точек по интенсивности. Для исследуемого участка дороги диапазон значений интенсивности был выбран от 25000 до 40000. В результате были исключены точки, не попавшие в диапазон интенсивности дорожной разметки. На рис. 11 показаны ТЛО дорожной разметки.

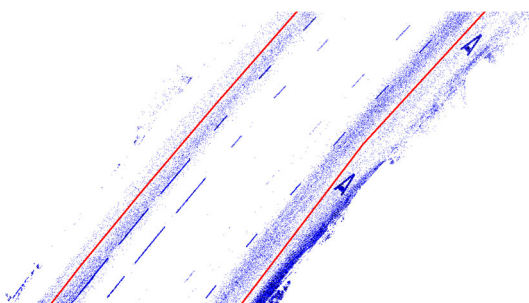


Рис. 11. Результат распознавания ТЛО дорожной разметки

На последнем этапе производилось исключение изолированных точек. Критерием исключения таких точек являлись: минимальное количество рядом стоящих точек не меньше трех в пределах радиуса поиска 0,05 м.

На рис. 12 показан результат исключения ТЛО на участках с их низкой плотностью размещения. В результате в классе точек остаются преимущественно те, которые принадлежат дорожной разметке.

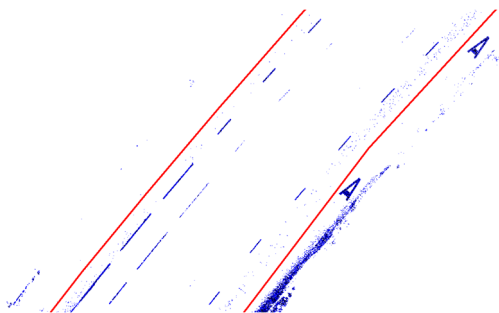


Рис. 12. Дорожная разметка

Обсуждение

В ходе работы было определено, что на качество работы приведенной методики негативно влияют несколько факторов.

Во-первых, это непараллельность траектории движения системы МЛС направлению бордюра, из-за чего остаются лишние точки, не принадлежащие автомобильной дороге за пределами бордюра в плане. В случае параллельности можно установить расстояние, равное расстоянию от траектории до бордюра. Также непараллельность возникает из-за изменения ширины дороги по мере движения системы МЛС, из-за чего выдержать параллельность в процессе съемки невозможно.

Во-вторых, это затертость дорожной разметки, в результате чего в методе классификации изолированных точек исключаются точки, принадлежащие дорожной разметке из-за низкой плотности их расположения.

В-третьих, неровность дорожного покрытия негативно сказывается на определении горизонтальной поверхности, что приводит к необходимости увеличивать допустимое отклонения вектора нормали от вертикального направления.

В-четвертых, влияет наличие посторонних объектов на поверхности дороги, попадающих в диапазон интенсивности дорожной разметки. Это сказывается на результате классификации по интенсивности, в результате чего при высокой плотности ТЛО, принадлежащих такому объекту, часть его точек включается в класс дорожной разметки.

Наличие посторонних объектов (автомобилей), загораживающих дорожную разметку, приводит к возникновению ошибки, при которой в результате реализации предложенной методики будет принято, что разметка на таких участках отсутствует.

В-пятых, влияет изменение общего показателя интенсивности по мере перемещения системы МЛС из-за различий в углах падения лазерного луча на дорож-

ное полотно, в результате чего на некоторых участках ТЛЮ дорожной разметки классифицируются некорректно. Это требует подбора индивидуального диапазона интенсивности для каждого отдельно участка.

В-шестых, при классификации от центральной линии необходимо учитывать, что уровень траектории по высоте относительно уровня бордюра и тротуара постоянно меняется.

Для решения возникших проблем можно усовершенствовать приведенную методику (брать параметр интенсивности не по абсолютному значению, а по относительному среднему на участке дороги; применение моделей разметки, сохраненной в библиотеке ПО TerraScan) или применить другой. В работе [11] автор предлагает выполнить классификацию бордюров для определения положения дорожного полотна, а в работе [12] предложено выполнять обработку облака точек лазерного сканирования классифицируя их относительно цветов.

Приведенную в работе методику можно дополнить определением бордюров на основе перепада высот и исключить все точки, не принадлежащие дорожному полотну. Также дополнительно можно применять информацию о истинных цветах, полученных со снимков, чтобы повысить достоверность распознавания точек, принадлежащих дорожной разметке.

Заключение

В связи с внедрением новых методов геодезической съемки, одним из которых является МЛС, значительно возрастает роль разработки новых автоматизированных методик и алгоритмов обработки получаемых данных с целью снижения трудоемкости решения задачи паспортизации и технического учета автомобильных дорог. В настоящее время уровень автоматизации находится на достаточно высоком уровне, но при этом присутствует необходимость и возможность его повышения. Дорожная разметка – это один из элементов автомобильных дорог, который позволяет определить ряд их параметров. Разработанная методика распознавания дорожной разметки позволяет выделить ее ТЛЮ на дорогах различной категории. Для этого необходимо уточнять значения параметров методов, входящих в состав методики, для дорог, отличных от той, которая анализировалась в приведенном исследовании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербанин Ю.А. Мировой транспорт: текущее состояние и корректировка целей // Экономическая политика России в межотраслевом и пространственном измерении : Материалы VI конференции ИНП РАН и ИЭОПП СО РАН по межотраслевому и региональному анализу и прогнозированию (Россия, г. Томск, 21–22 марта 2024 г.) – Новосибирск. – С. 144–147.
2. Росавтодор. Официальный сайт дорожного агентства [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosavtodor.gov.ru/> (дата обращения: 01.05.2025).
3. ООО ЛотосГЕО. Официальный сайт компании, занимающейся инженерными изысканиями для строительства и проектных работ [Электронный ресурс]. – URL: <https://lotosgeo.ru/uslugi/dorozhnyj-departament/pasportizaciya-dorog> (дата обращения: 28.11.2024).
4. ООО Контодор. Официальный сайт компании, занимающейся научными исследованиями и разработками в области естественных и технических наук [Электронный ресурс]. – URL: <https://kontodor.ru/pasportizaciya-avtomobilnykh-dorog/> (дата обращения: 28.11.2024).

5. Тыщенко В. В., Бульбаш Н. В., Феоктистов Д. К., Смирнова О. Б. К вопросу о роботизации / В. В. Тыщенко, Н. В. Бульбаш, Д. К. Феоктистов, О. Б. Смирнова // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : сборник VII Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 507–510.
6. Власов С. М., Бойков В. И., Быстров С. В., Григорьев В. В. Бесконтактные средства локальной ориентации роботов: учебн.-метод. пособие. – Санкт-Петербург : Изд. ИТМО, 2017. – 172 с.
7. Алтынцев М. А., Макаров А. М. Проблемы автоматизированного определения характерных линий автомобильных дорог по данным лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2018. XIV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов (Новосибирск, 23-27 апреля 2018 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 96–104.
8. Каркокли Хамид Маджид Сабер Влияние плотности размещения соответственных точек на результаты уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2021. XVII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов (Новосибирск, 19-21 мая 2021 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2021. – С. 65–74. – DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-65-74.
9. TerraScan User Guide. Руководство пользователя по работе с ПО TerraScan [Электронный ресурс]. – URL: <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (дата обращения: 01.05.2025).
10. Jaromir Landa, David Prochazka, Automatic Road Inventory Using LiDAR // Procedia Economics and Finance, 2014, – Vol 12. – P 363-370. – DOI 10.1016/S2212-5671(14)00356-6.
11. Bin Yu, Yuchen Wang, Qihang Chen, Xiaoyang Chen, Yuqin Zhang, Kaiyue Luan, Xiaole Ren, A review of road 3D modeling based on light detection and ranging point clouds // Journal of Road Engineering, 2024, – Vol 4. – Issue 4. – P 386-398. – DOI 10.1016/j.jreng.2024.04.009.
12. Mario Soilan, Diego Gonzalez-Aguilera, Ana del-Campo-Sanchez, David Hernandez-Lopez, Susana Del Pozo, Road marking degradation analysis using 3D point cloud data acquired with a low-cost Mobile Mapping System // Automation in Construction, 2022, – Vol 141. – P 11. – DOI 10.1016/j.autcon.2022.104446.
13. Axelsson P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models // International Archives of ISPRS. – 2000. – Vol. XXXIII-4. – P. 111–118.
14. Pankaj Kumar, Conor P. McElhinney, Paul Lewis, Timothy McCarthy, An automated algorithm for extracting road edges from terrestrial mobile LiDAR data // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, – Vol 85. – P 44-55. – DOI 10.1016/j.isprsjprs.2013.08.003.

© В. С. Беляков, М. А. Алтынцев, 2025

Д. В. Бирюков^{1✉}, Д. А. Баранников², А. М. Астапов¹

Исследование влияния наклона зрительной трубы цифрового нивелира на точность измерения превышения на станции

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Новосибирский техникум геодезии и картографии,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Аннотация. Для обеспечения измерения превышения на станции цифровыми нивелирами со средней квадратической ошибкой (СКО) порядка 0,05-0,08 мм необходимо учитывать влияние различных источников ошибок, включая и инструментальные. К такой ошибке относится ошибка, обусловленная наклоном зрительной трубы цифрового нивелира. При выполнении высокоточного нивелирования, как правило, круглый уровень устанавливается в пределах рабочего диапазона компенсатора, который равен 10-15'. Вместе с тем такой наклон зрительной трубы нивелира может привести к появлению в результатах измерений систематической ошибки, которая зависит от длины зрительной трубы. Для определения величины влияния наклона зрительной трубы цифрового нивелира на измеряемое превышение были выполнены исследования, которые показали, что даже при установке компенсатора в пределах рабочего диапазона величина систематической ошибки может достигать 0,08 мм. В связи с этим нами рекомендуется при выполнении нивелирования круглый уровень устанавливать строго посередине ампулы, несмотря на фактический предел работы компенсатора.

Ключевые слова: цифровые нивелиры, наклон зрительной трубы, СКО измерения превышения, рабочий предел работы компенсатора

D. V. Biryukov^{1✉}, D. A. Barannikov², A. M. Astapov¹

Investigation of the effect of the tilt of the digital leveling telescope on the accuracy of elevation measurement at the station

1 Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

2 Novosibirsk Technical College of Geodesy and Cartography, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Abstract. To ensure the measurement of the excess at the station with digital levels with an average square error of about 0.05-0.08 mm, it is necessary to take into account the influence of various sources of errors, including instrumental ones. This error includes an error caused by the tilt of the telescope of the digital level. When performing high-precision leveling, as a rule, the round level is set within the operating range of the compensator, which is 10-15'. At the same time, such a tilt of the leveling telescope can lead to the appearance of a systematic error in the measurement results, which depends on the length of the telescope. To determine the magnitude of the effect of the tilt of the digital leveling telescope on the measured excess, studies were performed that showed that even when installing a compensator within the operating range, the systematic error can reach 0.08 mm. In this regard, we recommend that when leveling, the round level should be set strictly in the middle of the ampoule, despite the actual operating limit of the compensator.

Keywords: digital levels, tilt of the telescope, measurement time of excess, operating limit of the compensator

Введение

При проведении измерений превышения на нивелирной станции зрительная труба уровенного и цифрового нивелиров располагается в различных позициях. Это связано с различиями в механизмах установления визирных осей в горизонтальном положении. В связи с этим имеются различия в происхождении основных источников ошибок [1-10].

В уровенном нивелире визирная ось остается неизменной и на протяжении всего процесса измерений (зрительная труба – внешняя воздушная среда) сохраняет горизонтальное положение, соответствующее текущему углу i . При визировании на заднюю и переднюю рейки центры объектива O_1 и O_2 (Рис 1, а) находятся практически на одном уровне. Разность высот $\Delta h = O_1 - O_2$ определяется лишь ошибкой совмещения концов пузырька уровня, которая составляет $m_{совм} = 0,17-0,21''$. При расстоянии от оси вращения до объектива в 220 мм получаем $\Delta h = O_1 - O_2 = 0,0002$ мм, что является незначительным и влияет на измеренное превышение случайным образом.

В нивелире с компенсатором визирная ось представляет собой ломаную линию, проходящую через сетку нитей и оптические элементы, включая компенсатор. Поскольку нивелир выравнивается по круглому уровню, то ось NN_1 вращения нивелира всегда будет находиться в наклонном положении (Рис 1, б). В результате при визировании на заднюю рейку центр объектива будет находиться в точке O_1 , а на переднюю – в точке O_2 . Это приводит к искажению отсчетов по задней и передней рейкам на величины $AA'O_1N$ и $BB'O_2N$ соответственно.

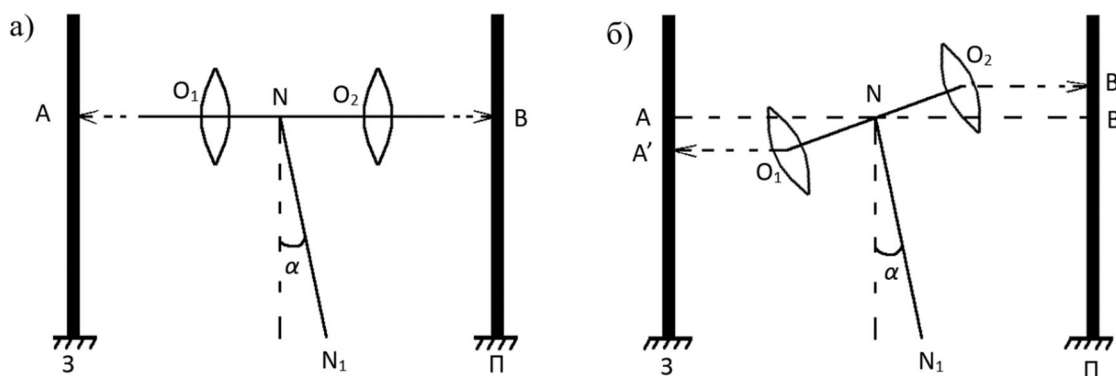


Рис. 1. Влияние наклона оси вращения нивелира с компенсатором на измеряемое превышение

Вследствие этого отсчеты по задней и передней рейкам будут искажены на величины, соответственно, AA' и BB' , которые будут равны

$$\left. \begin{aligned} AA' &= NO_1 \sin \alpha \\ BB' &= NO_2 \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Тогда величина суммарного δ_h влияния на величину измеряемого превышения будет равна

$$AA' + BB' = \delta_h = NO_1 \sin \alpha + NO_2 \sin \alpha = 2NO \sin \alpha. \quad (2)$$

При $NO_1 = NO_2 = 100$ мм и $m_\alpha = 1,0'$ (ошибка установки нивелира по круглому уровню) получим $\delta_h = 0,03$ мм.

Эта ошибка имеет систематический характер и может быть значительной при высокоточном нивелировании, особенно короткими лучами с требуемой СКО порядка 0,03-0,05 мм для монтажа уникального инженерного оборудования.

Методы и материалы

Для определения фактического влияния наклона зрительной трубы были проведены исследования в лабораторных условиях. Для этого на расстоянии 5,9 и 10,3 м от нивелира Dini 03 устанавливалась рейка, по которой производились отсчеты тремя сериями по 20 отсчетов в серии.

Программа исследований включала в себя:

- взятие отсчетов при установке пузырька уровня строго по центру (рисунок 2, а).
- взятие отсчетов при отклонении пузырька уровня от центра с шагом около $5,0'$ (рисунок 2, б, в).
- взятие отсчетов при установке пузырька уровня на краю ампулы (рисунок 2, г).

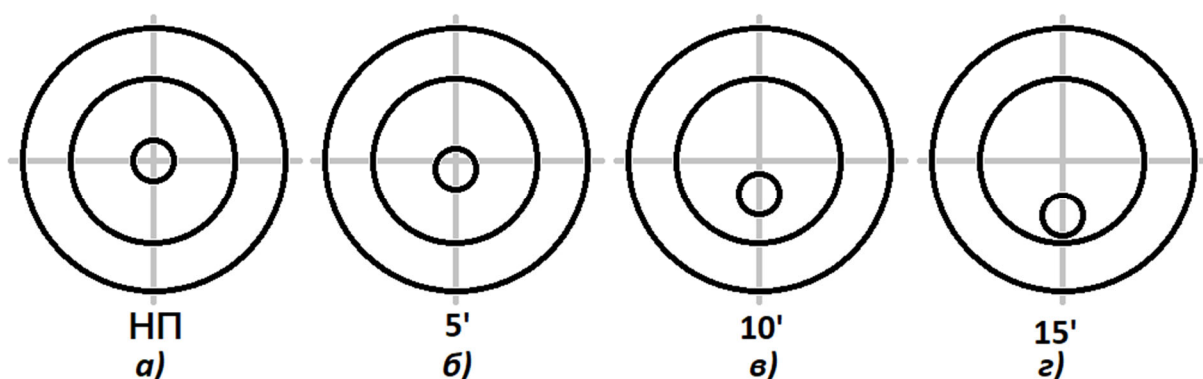


Рис. 2. Положение пузырька круглого уровня при взятии отсчетов

В результате проведенных измерений были получены следующие отклонения от нулевого горизонта (таблица 1):

- при отклонении пузырька на 5,0' изменение отсчета для расстояния 5,9 м составило 0,04 мм, а для расстояния 10,3 м составило 0,03 мм;
- при отклонении пузырька на 10,0' изменение отсчета для расстояния 5,9 м составило 0,05 мм, а для расстояния 10,3 м составило 0,05 мм;
- при отклонении пузырька на 15,0' изменение отсчета для расстояния 5,9 м составило 0,08 мм, а для расстояния 10,3 м составило 0,09 мм.

Таблица 1

Результаты исследования влияния наклона зрительной трубы на отсчет по рейке

№ отсчетов	Расстояние 5,867 м				Расстояние 10,327 м			
	НП	1/3	2/3	3/3	НП	1/3	2/3	3/3
1	1,53461	1,53457	1,53454	1,53451	1,55064	1,55059	1,55058	1,55055
2	1,53462	1,53456	1,53454	1,53451	1,55063	1,55059	1,55059	1,55056
3	1,53462	1,53456	1,53455	1,53451	1,55063	1,55061	1,55059	1,55054
4	1,53462	1,53457	1,53454	1,53451	1,55063	1,55061	1,55058	1,55054
5	1,53461	1,53457	1,53455	1,53452	1,55063	1,55061	1,55058	1,55054
6	1,53460	1,53457	1,53455	1,53452	1,55062	1,55060	1,55058	1,55054
7	1,53461	1,53456	1,53456	1,53451	1,55062	1,55059	1,55059	1,55054
8	1,53459	1,53457	1,53456	1,53452	1,55063	1,55060	1,55059	1,55055
9	1,53460	1,53456	1,53455	1,53451	1,55064	1,55061	1,55059	1,55055
10	1,53459	1,53457	1,53455	1,53452	1,55063	1,55060	1,55058	1,55055
11	1,53459	1,53456	1,53454	1,53452	1,55062	1,55061	1,55058	1,55054
12	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55061	1,55061	1,55057	1,55053
13	1,53461	1,53456	1,53455	1,53451	1,55062	1,55061	1,55058	1,55053
14	1,53460	1,53455	1,53454	1,53451	1,55063	1,55062	1,55058	1,55055
15	1,53460	1,53455	1,53454	1,53451	1,55063	1,55061	1,55058	1,55055
16	1,53460	1,53455	1,53455	1,53451	1,55063	1,55060	1,55057	1,55055
17	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55062	1,55060	1,55058	1,55054
18	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55062	1,55060	1,55056	1,55055
19	1,53460	1,53455	1,53454	1,53452	1,55063	1,55058	1,55057	1,55055
20	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55062	1,55059	1,55057	1,55053
среднее	1,53460	1,53456	1,53455	1,53452	1,55063	1,55060	1,55058	1,55054

Для снижения влияния наклона зрительной трубы необходимо:

- тщательно выполнять поверку и юстировку круглого уровня;
- при выполнении измерений устанавливать уровень строго по центру;
- следить за положением уровня во время работы, особенно на неустойчивом грунте.

Также значительное уменьшение влияния наклона достигается соблюдением симметричных программ наблюдений как на станции, так и в ходе нивелирования. При высокоточном нивелировании I и II классов следует применять симметричные программы наблюдений [11].

Заключение

При выполнении высокоточного нивелирования I и II классов должны применяться симметричные программы наблюдений на станции или в нивелирном ходе, а также соответствующая последовательность приведения уровня в нуль-пункт. Если применяется программа наблюдений ЗППЗ (нечетная станция) и ПЗЗП (четная станция) и нивелирование выполняется по одной линии, то последовательность действий должна быть следующей:

1. Нечетная станция:

- наведение на заднюю рейку и тщательная установка уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по задней рейке;
- наведение на переднюю рейку и взятие отсчета;
- смена горизонта инструмента;
- повторное наведение на переднюю рейку и тщательная установка (контроль) уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по передней рейке;
- наведение на заднюю рейку и взятие отсчета.

2. Четная станция:

- наведение на переднюю рейку и тщательная установка уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по передней рейке;
- наведение на заднюю рейку и взятие отсчета;
- смена горизонта инструмента;
- повторное наведение на заднюю рейку и тщательная установка (контроль) уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по задней рейке;
- наведение на переднюю рейку и взятие отсчета.

Такой последовательностью действий соблюдается симметричность наклона (вверх и вниз) зрительной трубы как на нечетной, так и четной станциях и, тем самым, практически полностью исключается влияние указанной ошибки.

При выполнении нивелирования по двум линиям последовательность действий на станции должна быть такая же.

При наблюдении за осадками инженерных сооружений измерение превышений между осадочными марками высокоточным нивелированием короткими лучами часто производится по программе ЗЗПП без смены горизонта инструмента со сдвоенными отсчетами. Данная программа применяется при установке штатива на бетонное основание. В этом случае не будет происходить исключение из полученных превышений систематической ошибки за наклон зрительной трубы. Поэтому при выполнении высокоточного нивелирования 1 разряда наблюдения на нивелирной станции необходимо выполнять с использованием симметричной программы ЗППЗ-ПЗЗП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Визиров, Ю. В. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров / Ю. В. Визиров, С. В. Ковалёв, А. И. Спиридонов // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17 – 19.
2. Голыгин, Н. Х. Поверка и калибровка цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек / Н. Х. Голыгин // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 2. – С. 93 – 97.
3. Голыгин, Н. Х. Исследование внутришаговой короткопериодической погрешности цифрового нивелира DiNi 10 / Н. Х. Голыгин, Д. А. Шаимкулов // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 5. – С. 106 – 116.
4. Мещерский, И. Н. Об ошибках высокоточного нивелирования // Геодезия и картография. – 1987. – № 7. – С. 48 – 52.
5. Травкин, С. В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер / С. В. Травкин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 3. – С. 97 – 100.
6. Уставич, Г. А. Исследование цифровых нивелиров и реек / Г. А. Уставич, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 9 – 15.
7. Уставич, Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых // Вестник СГГА. – 2010. – № 2. – С. 3 – 8.
8. Уставич, Г. А., Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» / Г. А. Уставич, Х. К. Ямбаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 8 – 13.
9. Уставич, Г. А. Схема полевого высотного стенда для поверки системы «цифровой нивелир–штрихкодовые рейки» / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – №4/С. – С. 51–55.
10. Шалыгина, Е. Л. Цифровое нивелирование - основные источники ошибок / Е. Л. Шалыгина // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 15 – 17.
11. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03.2004. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.

© Д. В. Бирюков, Д. А. Баранников, А. М. Астапов, 2025

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

Геодезическое сопровождение монтажа физического оборудования перепускного канала электронного пучка «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 работе представлены результаты мониторинга деформационных изменений транспортного канала электронного пучка. Установлено, что секции канала, примыкающие к фундаментам зданий инжектора и накопителя, остаются стабильны. Центральная часть канала подвержена наибольшим вертикальным смещениям. Рассмотрен метод юстировки оборудования в проектное положение, основанный на последовательной коррекции центральной части канала после монтажа инжекционной и накопительной частей. В условиях активных деформационных процессов строительных конструкций и с высокоточными требованиями на установку в проектное положение физического оборудования, такой подход является оптимальным с точки зрения оперативности выполнения геодезических работ.

Ключевые слова: мониторинг деформаций, транспортный канал, юстировка, геодезические измерения

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

Geodetic Monitoring During Assembly of Physical Components in the «SKIF» Electron Beam Transfer Channel

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 presents the results of monitoring deformation changes in the transport channel. It has been established that the channel sections adjacent to the foundations of the injector and storage buildings remain stable. The central part of the channel is subject to the greatest vertical displacements. A method for adjusting the equipment to the design position based on sequential correction of the central part of the channel after installation of the injection and storage parts is considered. Under conditions of active deformation processes of building structures and with high-precision requirements for installation of physical equipment in the design position, such an approach is optimal from the point of view of the efficiency of geodetic work.

Keywords: deformation monitoring, beam transfer channel, alignment, geodetic surveying, reference points

Введение

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

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 рисунке 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.



Рисунок 1 – основные составные части источника синхротронного излучения СКИФ, где 1 – инжектор и транспортный канал Бустер-Накопитель; 2 – здание Накопителя; 3 – зал пользовательских станций (станции №3-1...); 4,5 – станции, вынесенные отдельными зданиями.

Современные ускорители частиц, такие как «СКИФ» в Кольцово, требуют субмиллиметровой точности позиционирования оборудования. Перепускной канал является важной частью комплекса и предназначен для перепуска пучков электронов от инжектора в накопительное кольцо. Искажения расчетной орбиты, вызванные ошибками установки в проектное положение, могут привести

к энергетическим потерям и снижению эффективности параметров всего комплекса.

Методы и материалы

Необходимая точность выставки технического оборудования транспортного канала составляет $\leq 0,15$ мм в поперечных направлениях движения пучка [1]. Основным прибором, используемым для контроля монтажа физического оборудования ЦКП СКИФ являются лазерные трекары, в том числе и Leica AT403. Технические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики Leica AT403

Трехкоординатная погрешность измерений (максимально допустимая ошибка, МРЕ)	
Статический режим	± 15 мкм + 6 мкм/м
Динамический режим	± 30 мкм + 12 мкм/м
Горизонтирование прибора	± 1 уг. Сек.
Диапазон измерений (по радиусу)	
На отражатель	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).

Структура транспортного канала СКИФ показана на рисунке 2.

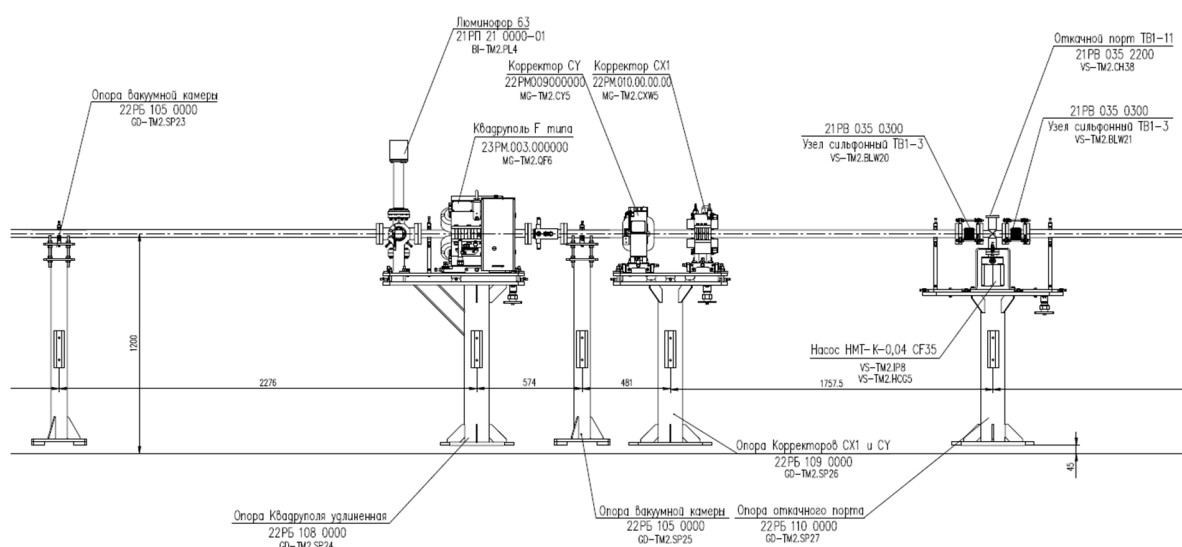


Рисунок 2 – Фрагмент чертежа регулярно повторяющихся элементов транспортного канала СКИФ

Для соблюдения проектных геометрических параметров ускорительно-накопительного комплекса во всех помещениях создается геодезическая опорная сеть, служащая основой непосредственно для высокоточного монтажа и юстировки физического оборудования. Измерения выполняются лазерными трекерами. Точность результатов измерений в одном цикле наблюдений должна быть не хуже $\pm 0,07$ мм [2]. Достаточная плотность сети составляет 0,5 – 0,7 знака на погонный метр тоннеля.

Длина канала (прямолинейного участка, задачей которого является перепуск электронного пучка из Бустера в Накопитель) составляет 182 м. Тоннель конструктивно состоит из 3 частей:

- часть, расположенная на фундаменте инжектора, порядка 25 метров.
- средняя часть, бетонный каркас, расположенный на уплотненном грунте, длиной 76 метров.
- часть тоннеля, примыкающая к фундаменту здания Накопителя, длина около 81 метра.

С целью контроля взаимного расположения частей канала, производится геодезический мониторинг. Первый цикл измерений был проведен в сентябре 2024 года, второй в феврале 2025.

По результатам анализа можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная величина вертикальных смещений равна 14,9 мм.
2. Максимальные деформационные процессы наблюдаются в средней части канала.
3. Часть, прилегающая к плите Накопителя, имеет величины горизонтальных смещений существенно больше, чем высотных.

График вертикальных смещений для знаков сети представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – График вертикальных смещений геодезических знаков сети транспортного канала за период сентябрь 2024 – февраль 2025 (Ось абсцисс – номера наблюдаемых точек, Ось ординат – разница отметок)

На основании вышеописанных результатов анализа деформационного мониторинга за прошедший период определена стратегия приведения элементов транспортного канала в проектное положение в сложившихся условиях:

- часть оборудования, расположенная на участках фундамента инжектора и накопителя, юстируется от координат геодезической сети, полученной в февральском цикле наблюдений;
- при завершении первого этапа крайние элементы, опирающиеся на фундамент Инжектора и Накопителя, будут являться носителями координат в локальной системе лазерного трекера. Сам прибор будет установлен равноудаленно от обозначенных элементов в средней части тоннеля;
- после оценки планово-высотного положения крайних элементов и согласования их с проектными значениями, производится последующая установка элементов средней части канала.

На основании проведённого анализа данных мониторинга деформационных процессов в транспортном канале установлено, что пространственное положение элементов на плите бустера и инжектора остаётся стабильным в течение наблюдаемого периода. В связи с этим юстировка центральной части канала будет осуществляться по следующей методике: крайние элементы бустерной и инжекторной секций фиксируются в качестве опорных точек, что позволяет провести точное позиционирование измерительного оборудования и выполнить корректировку расположения элементов в центральной зоне.

Заключение

Предложен подход решения задачи приведения оборудования в проектное положение с требуемыми допусками в условиях активных деформационных процессов строительных конструкций и продолжения проведения строительства.

Применение данного подхода обеспечивает снижение временных затрат на повторные геодезические измерения в рамках цикла мониторинговых наблюдений. Рекомендуется регулярно проводить деформационный мониторинг внутри здания, для своевременного обнаружения этих самых деформаций. В ходе исследования было предложено решение установки в проектное положение оборудования транспортного канала с интенсивными деформационными процессами.

Благодарности

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хаметов Т. И. Инженерно-геодезическое сопровождение строительства и эксплуатации зданий, сооружений: учебное пособие. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. - 296 с. - ISBN 978-5-9729-0659-8.
2. Дегтярев Л. В. Геодезическое обеспечение строительства: учебное пособие. - Минск: БГТУ, 2005. - 243 с.

3. 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.
4. Марфенко С. В. Высокоточные геодезические работы при строительстве и эксплуатации прецизионных сооружений: учебное пособие. - М.: МИИГАиК, 2004. - 180 с.
5. Баран П. И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. - М.: Недра, 1990. - 233 с.
6. Геодезия в строительстве: учебное пособие. - Челябинск: ЧГУ, 2021. - 120 с.
7. Масько А. В. Геодезическое сопровождение монтажа вентиляционного оборудования и трубопровода пожаротушения: дипломная работа. - Минск: БНТУ, 2020. - 66 с.
8. СП 126.13330.2017 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84. - М.: Минстрой России, 2017.
9. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. - М.: Минстрой России, 2012.

© Л. Е. Сердаков, Н. А. Борщ, К. В. Паульзин, 2025

А. В. Владыкина¹, Н. А. Немова^{1,2}, А. Н. Гришин¹✉

Особенности проектирования параметров буровзрывных работ при сооружении земляного полотна автодороги в сложных природных условиях

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² ИГД СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: alex-gri66@rambler.ru

Аннотация. Проанализировано текущее состояние проектирования буровзрывных работ, выполнен анализ действующей нормативно-технической документации. Отмечены особенности проектирования буровзрывных работ в случае использования современного оборудования, позволяющего осуществлять горизонтальное бурение. Рассмотрены преимущества его использования в труднодоступных гористых условиях, освещены особенности производства современных взрывчатых материалов и схем инициирования. Сделаны выводы об экономическом обосновании применения новых технологий, необходимости обновления нормативно-технической документации для проектирования буровзрывных работ при строительстве автодорожного полотна в горных условиях.

Ключевые слова: буровзрывные работы, взрывчатые вещества, системы инициирования, правила безопасности

A. V. Vladykina¹, N. A. Nemova^{1,2}, A. N. Grishin¹✉

Features of designing parameters of drilling and blasting operations in the construction of a roadbed in difficult natural conditions

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: alex-gri66@rambler.ru

Abstract. The current state of drilling and blasting design is analyzed, and the current regulatory and technical documentation is analyzed. The features of drilling and blasting design are noted in the case of using the latest equipment that allows horizontal drilling. The advantages of its use in high-mountain, hard-to-reach conditions are considered, and the features of the production of modern explosive materials and initiation schemes are highlighted. Conclusions were made on the economic justification for the use of new technologies, the need to update regulatory and technical documentation for the design of drilling and blasting operations for road surfaces in high-mountain conditions.

Key words: drilling and blasting, explosives, initiation systems, safety rules

Введение

Цель данной статьи – проанализировать исторический опыт проведения буро-взрывных работ при сооружении земляного полотна и переход к использованию современных технологических решений в данной области. Это актуально

в свете продвижения добычных работ во все менее благоприятные для хозяйственной деятельности человека условия: в высокогорную местность, зону вечномёрзлых грунтов, на большое расстояние от развитых транспортных маршрутов. На место производства работ сложно доставить тяжелую технику, работы необходимо выполнять быстро, за короткий благоприятный период года.

Состояние вопроса

Проектирование и ведение буровзрывных работ при сооружении земляного полотна имеет ряд особенностей, которые обусловлены характером выполнения таких работ. К числу таких особенностей относятся: постоянно меняющиеся горно- гидро-геологические характеристики взрывааемых горных пород, рельеф местности, отдалённость от административных и промышленных центров, применение специального бурового оборудования и взрывчатых материалов и т.д.

В советские годы производством буровзрывных работ при строительстве дорог занимался всесоюзный трест «Трансвзрывпром», относящийся к Министерству транспортного строительства СССР [1].

Парк бурового оборудования в управлениях треста к концу 80-х годов прошлого столетия в основном состоял из станков БТС-150, которые были специально разработаны для бурения скважин при создании выемок (рис. 1, а). А для выработки сжатого воздуха, необходимого для работы буровых механизмов, использовались передвижные компрессоры типа ПВ (НВ) -10 (рис.1, б).



а)



б)

Рис. 1. Буровой станок БТС-150 (а) и передвижной компрессор ПВ-10 (б)

При проектировании БВР использовалась актуальная на тот момент нормативная и справочная литература: СНиПы, ЕНиРы, «Нормы проектирования и производства буровзрывных работ при сооружении земляного полотна» (ВСН 178-74 (91), «Общие производственные нормы расхода материалов в строительстве. Сб. 03. Буровзрывные работы/Минтрансстрой СССР», «Справочник взрывника» под общей редакцией Б. Н. Кутузова и др. Разработкой указанной литературы занимались ведомственные и всесоюзные проектные и научные организа-

ции. Технологии, механизмы и материалы, содержащиеся в этих источниках, в основном соответствовали применявшимся на производстве.

В те годы использовались, как правило, взрывчатые вещества (ВВ) заводского изготовления. В качестве основного ВВ использовался граммонит 79/21 в сухих скважинах и гранулотол – в обводнённых. В качестве средств инициирования (СИ) использовались детонирующий шнур (ДШ), пиротехнические реле и электродетонаторы мгновенного и короткозамедленного действия (ЭД).

Взрывчатые материал (ВМ) на места закладки доставляли с расходных складов, принадлежавших управлениям треста, или со складов горных предприятий, если такие располагались поблизости. Использовался в основном автомобильный специализированный транспорт, а также воздушный, железнодорожный и речной.

В настоящее время производством буровзрывных работ при строительстве дорог занимаются частные компании, многие из которых были созданы на базе управлений Трансвзрывпрома после приватизации. Теперь такие задачи, как приобретение оборудования и материалов, заключение договоров подряда, разработка проектной документации и проч., каждая организация решает самостоятельно.

Технологические решения

За последние два десятилетия значительно обновился парк бурового оборудования. На смену советской технике пришли буровые станки, зарядное и другое оборудование зарубежного производства (рис. 2).



*Рис. 2. Буровая установка Sandvik DI550
для бурения с погружным пневмоударником*

Зарубежное буровое и зарядное оборудование по техническим возможностям и характеристикам значительно отличается от советского. Его использование предполагает пересмотр технологии проведения БВР, нормативных показателей и др., например, если при использовании станка БТС-150 возможно бурение взрывных вертикальных и наклонных до 30° скважин диаметром 150 мм на глубину до 32 м, то при использовании зарубежного оборудования с применением пневмоударников диаметр скважин может колебаться в пределах 60-200 мм, а глубина бурения достигать 50 м.

Максимальный угол уклона для буровой установки - 12° , возможность современного оборудования бурить скважины в пределах от вертикального до горизонтального положения позволяет проходить выемки на крутых склонах трассы лобовым забоем и отказаться от устройства буровых троп и полок (рис. 3).

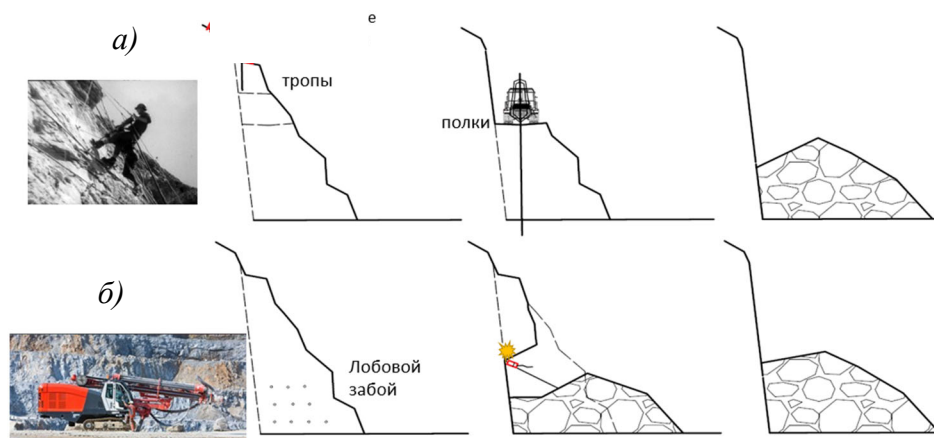


Рис. 3. Технологическая схема разработки полувыемки на крутом косогоре (нарезка технологической тропы и полки бульдозером) (а), схема взрыва на обрушение лобовым забоем горизонтальными скважинами и обрушение козырьков патронированным зарядом (б)

На разных участках трассы разрабатываются различные грунты по классификации СНиП 4.02-91, по трудности разработки, по сопротивлению трещинообразованию при взрыве. Для каждой группы грунтов IV-XI рассчитывается индивидуальная сетка (рис. 4).

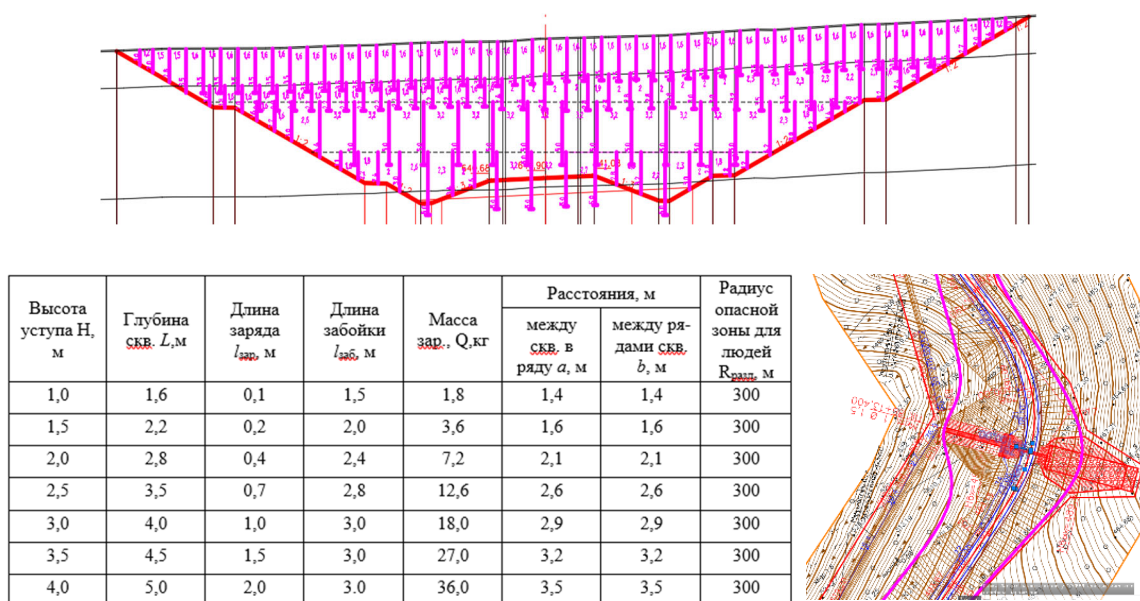


Рис. 4. Поперечный профиль трассы с проектным положением скважин (а), параметры скважинных зарядов (б), участок БВР (в)

Реализация технологии трехмерного моделирования проекта трассы и автоматизированной системы навигации и позиционирования буровой установки на проектные координаты скважин, успешно функционирующие на карьерах, позволяет оператору определять длину скважин, которая нужна в данном месте, исключая перебур.

В области применения взрывчатых материалов также произошли значительные изменения. При взрывании обводнённых скважин вместо ранее применявшегося гранулолома широко стали использовать эмульсионные ВВ (ЭВВ) [2]. В состав ВВ входят аммиачная селитра, масла, эмульгаторы и другие компоненты, они намного безопаснее при транспортировке, хранении и в процессе заряжения скважин, в составе нет веществ, способных к самопроизвольной детонации. Мини-завод по выпуску ЭВВ, может быть расположен непосредственно на месте производства буровзрывных работ, что позволяет повысить их качество и оперативность выполнения.

Взрывчатые вещества используются трех основных видов: патронированные, гранулированные и наливные. Патронированное эмульсионное ВВ используется в скважинах диаметром менее 100 мм. Оболочка патронов выполнена из полиэтилена, торцы зажаты металлическими клипсами. Наливные ЭВВ заряжаются непосредственно в скважины на местах ведения взрывных работ, состав подбирается с учётом их диаметра. В зависимости от состава, могут использоваться для сухих, частично обводненных и в полностью обводненных скважинах.

Для подрыва ВВ требуется инициирующий импульс. Были внедрены неэлектрическая (НСИ) и электронная (ЭСИ) системы инициирования [3, 4].

Все эти значительные изменения не находят отражения в нормативной документации, используемой при проектировании БВР, расчёта стоимости производства работ. Так, в ГЭСН 81-02-03-2022 сб. 3 «Буровзрывные работы» перечень взрывчатых материалов соответствует технологиям 80-х годов прошлого столетия.

Остро стоит вопрос с методиками расчёта параметров БВР. Самые «современные» «Технические правила ведения взрывных работ в энергетическом строительстве» утверждены в 1997 году, т.е. до начала активного внедрения взрывчатых материалов, используемых в наши дни.

Буровзрывные организации для разработок схем взрывания вынуждены пользоваться зарубежными методиками [5]. Это неэлектрическая система инициирования на базе волновода низкоэнергетического типа. Ударная волна проходит через волновод, представляющий из себя пластмассовую трубку, внутренняя поверхность которой покрыта взрывчатым веществом.

Схемы взрывания, представленные в ранее изданных правилах, разработаны для ЭД и ДШ, т.е. для взрывания скважинных зарядов группами на две обнажённые поверхности (рис. 5 а и б). При взрыве нескольких рядов на уступе важно, чтобы при смещении горной породы из первого ряда было достаточно времени до начала смещения следующего ряда. При дроблении взрывом горная порода увеличивается в объеме до 50% и необходимо подготовить место для этого объема в короткий промежуток времени. Время замедления между рядами состав-

ляет от 10 мсек./м в твердых породах и до 30 мсек./м в мягких породах. Обычно используется наиболее оптимальное замедление 15 мсек./м.

Схема монтажа НСИ (рис. 5в) с замедлением 42 мсек между скважинами и 109 мсек между рядами одна из простых для монтажа и наиболее часто используемая. Скважины соединяются порядно, на рисунке указаны очередность взрыва и суммарное замедление.

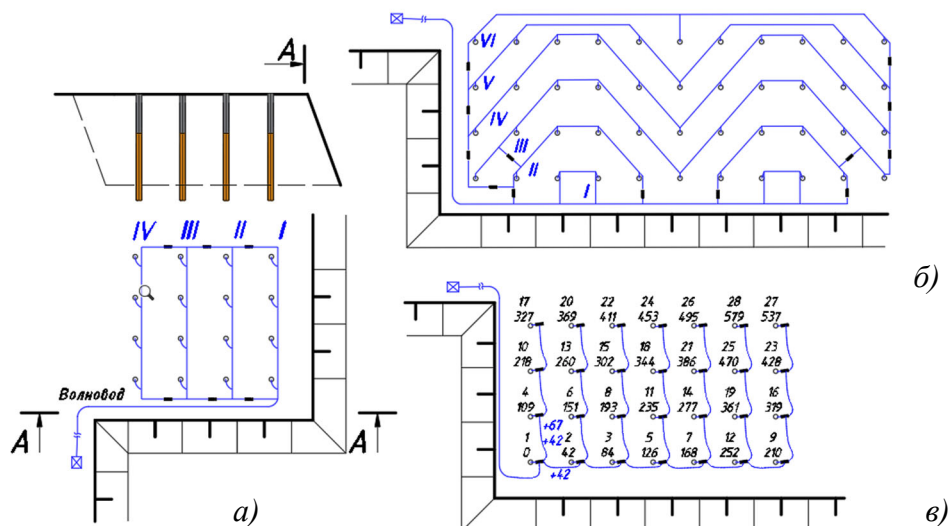


Рис. 5. Типовые схемы КЗВ с использованием ДШ и ЭД (а) – поперечная, (б) – трапецеидальная, (в) схема системы Нонель с замедлением 42 и 109 мсек.

Новые системы, такие как НСИ и ЭСИ предполагают поскважинное взрывание на три обнажённые поверхности. Дополнительная (третья) обнаженная поверхность формируется после взрыва каждой скважины, что приводит к лучшему дроблению горной массы. Это менее сейсмоопасно для окружающей застройки, нет необходимости отвода оборудования на значительное расстояние, а значит сокращается время цикла БВР. Система отличается меньшим количеством отказных зарядов в скважинах.

Безопасное расстояние сейсмического воздействия, которое рассчитывается по формуле (1) [6], при использовании НСИ значительно уменьшается, в особо сложных условиях может применяться 2 и более капсулей-детонаторов в скважине. Дальность разлета породы также значительно уменьшаются.

$$r_c = \frac{K_r K_{ca}}{N^{1/4}} \cdot Q^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого сооружения;

K_c – коэффициент, зависящий от типа сооружения и характера застройки;

a – коэффициент, зависящий от условий взрывания;

Q – масса заряда, кг.

Проектные организации имеют право включить в проект строительства автодороги использование современной техники и материалов, но вопрос заключается в обосновании такого выбора – справочная литература с нормами расхода и производительностью оборудования отсутствует, каждое производственное предприятие вынуждено выполнять собственные экспериментальные работы для выбора оптимальных параметров БВР.

Заключение

Рассмотренные выше новые технологии БВР требуют высокой культуры производства работ на предприятиях, инновации внедряются в технологические циклы со сложностями. Современные технологии не описаны в нормативной документации, а следовательно не учитываются:

- при выборе экономически обоснованных схем работы;
- в научных исследованиях состава ВВ для лучшего дробления скальных и мерзлых грунтов;
- при разработке и производстве бурового оборудования и систем инициирования.

Расчёт объемов работ в ГЭСН 81-02-03-2022 (человеко/часы, машино/часы), производится с учётом работы на устаревшем оборудовании, что завышает стоимость и сроки БВР в современных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эстеров Я.Х., Бродов Е.Ю., Иванаев М.И., Дзасохова Л.В. Буровзрывные работы на транспортном строительстве // М.: Транспорт, 1974. – 376 с.
2. Соснин В.А., Межерицкий С.Э, Печенев Ю.Г. Состояние и перспективы развития промышленных взрывчатых веществ в России и за рубежом // Горная Промышленность. 2017. № 5 (135). С. 60-64.
3. Алексеев А.А. Современные системы инициирования и новейшие взрывные технологии // Записки Горного института. 2009. Т.180. С. 91-94.
4. Фадеев А.А., Багдасарян О.Е. Использование электронных систем инициирования для снижения влияния промышленных взрывов на окружающую среду и охраняемые объекты вблизи населенных пунктов // Уголь. 2024. № 12. С. 122-126.
5. Описание системы «Нонель» [Электронное издание]. – Швеция: фирма «Дино-Нобель», 1998-08. – Режим доступа: http://striletsa.ucoz.ru/_ld/0/5__NONEL_.pdf.
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения". Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 года № 494.

© А. В. Владыкина, Н. А. Немова, А. Н. Гришин, 2025

Д. Н. Волежжанин^{1,2}✉

О влиянии технических требований на результаты инженерно-геодезических изысканий

- ¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
² Территориальный отдел в г. Новосибирске Сибирского филиала ФАУ
«Главгосэкспертиза России», г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: d.volegzhanin@gge.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам качества технических требований, содержащихся в документах национальной системы стандартизации, и их влияния на результаты инженерно-геодезических изысканий. Инженерно-геодезические изыскания являются неотъемлемой частью градостроительной деятельности. Инженер-изыскатель должен не только уметь применять на практике многочисленные технические требования, но и четко понимать причины их установления в национальных стандартах и сводах правил. Установленные требования должны быть разработаны на основе результатов научных исследований (испытаний) и измерений, приобретенного практического опыта применения новых видов продукции, процессов и технологий. В статье рассматриваются некоторые примеры технических требований, выполнение которых либо противоречит техническим требованиям, установленным иными документами национальной системы стандартизации, либо технически затруднено. Также в статье приведен анализ причин возникновения текущей ситуации. Сделан вывод о необходимости наличия сбалансированной системы документов национальной системы стандартизации, позволяющей развивать технологический и стоимостный инжиниринг.

Ключевые слова: инженерно-геодезические изыскания, технические требования, документы национальной системы стандартизации, технологический и стоимостный инжиниринг, базовые цены, сметная стоимость

D. N. Volegzhanin^{1,2}✉

On the impact of technical requirements on the results of engineering and geodetic surveys

- ¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
² Territorial department in Novosibirsk of the Siberian Branch of the FAA
"Glavgosexpertiza of Russia", Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: d.volegzhanin@gge.ru

Abstract. In the article, the author considers some issues on the technical requirements contained in the documents of the national standardization system and their impact on the results of engineering and geodetic surveys. Engineering and geodetic surveys are an integral part of urban planning activities. A survey engineer should not only be able to apply numerous technical requirements in practice, but also clearly understand the reasons for their establishment in national standards and codes of practice. The established requirements should be developed based on the results of scientific research (tests) and measurements, acquired practical experience in the application of new types of products, processes and technologies. The article discusses some examples of technical requirements, the fulfillment of which either contradicts the technical requirements established by other documents of the national standardization system, or is technically difficult. The article also provides an analysis of the causes of the current situation. It is concluded that there is a need for a balanced document system of the national standardization system, which allows the development of technological and cost engineering.

Keywords: engineering and geodetic surveys, technical requirements, documents of the national standardization system, technological and cost engineering, base prices, estimated cost

Общие положения

Одним из важнейших принципов технического регулирования в Российской Федерации является установление минимально необходимых требований к продукции и процессам. Данные требования устанавливаются как соответствующим техническим регламентом [1], так и документами, в результате применения которых обеспечивается соблюдение этих требований [2].

Подтверждение соответствия, или документальное удостоверение соответствия процессов инженерно-геодезических изысканий требованиям технических регламентов, документам по стандартизации или условиям договоров [1, 3], осуществляется путем выполнения внутреннего и внешнего контроля и/или проведения экспертизы результатов инженерных изысканий.

В процессе подтверждения соответствия все стороны руководствуются принципами стандартизации, в том числе [4]:

- обеспечение соответствия общих характеристик, правил и общих принципов, устанавливаемых в документах национальной системы стандартизации, современному уровню развития науки, техники и технологий, передовому отечественному и зарубежному опыту;
- непротиворечивость документов национальной системы стандартизации и сводов правил, отсутствие в них дублирующих положений.

При разработке свода правил не допускается дублирование требований национальных стандартов Российской Федерации и других сводов правил [5].

Получение достоверных и достаточных топографо-геодезических материалов и данных о ситуации и рельефе местности, существующих и строящихся зданиях и сооружениях, элементах планировки, проявлениях опасных природных процессов и факторов техногенного воздействия, необходимых для осуществления градостроительной деятельности, является целью инженерно-геодезических изысканий [3, 6]. Говоря простым языком, проектировщику нужна инженерная цифровая модель местности (ИЦММ). Создание же геодезической основы инженерных изысканий является опциональным, зависит от целей и задач выполняемых работ и топографо-геодезической изученности.

Проблематика

Экспертами ФАУ «Главгосэкспертиза России» выполнен анализ заключений, выданных по результатам инженерных изысканий [7]. Установлено, что каждое девятое заключение, выданное в 2021-2022 гг., является отрицательным.

При подтверждении соответствия процессов изысканий требованиям технических регламентов контролирующее лицо считает правила и общие принципы, содержащиеся в сводах правил, истинными, соответствующими современному уровню развития науки, техники и технологий. Такой подход означает, что исполнители инженерных изысканий применяли в ходе выполнения работ технические и технологические решения, несоответствующие установленным требованиям технических регламентов.

Личный опыт автора подсказывает, что практически все замечания к результатам инженерно-геодезических изысканий, за исключением замечаний к

оформлению технического отчета и исходно-разрешительной документации, так или иначе связаны с созданием геодезических сетей.

Как сказано выше, создание опорных и/или съемочных геодезических сетей является опциональным видом работ. Кроме того, в настоящее время все большее распространение получают методы спутниковых определений, классические методы, полигонометрия и нивелирование, утрачивают свои позиции при выполнении инженерно-геодезических изысканий. С одной стороны, появляется возможность существенно упростить и удешевить полевые работы, с другой – наличие весьма непростых технических требований к созданию геодезических сетей методами спутниковых определений, требований к необходимости создания (и закрепления) геодезических сетей на участке изысканий – приводит к появлению ошибок при выполнении работ.

Можно долго рассуждать об уровне компетенций современных исполнителей инженерно-геодезических изысканий, рассматривая действующие своды правил как канонические тексты. В статье же предлагается взглянуть на проблему с иного ракурса. А что, если именно установленные в документах национальной системы стандартизации технические требования приводят к отрицательным результатам?

Рассмотрим несколько спорных, по личному мнению автора, технических требований.

Примеры спорных технических требований

Пункт 4.17 СП 317.1325800.2017. По дополнительному требованию заказчика, опорные и/или съемочные геодезические сети создают с обеспечением возможности их последующего использования в качестве геодезической разбивочной основы (ГРО) для строительства. Необходимую точность определения планово-высотного положения пунктов указанных сетей устанавливают согласно СП 126.13330.2017 и проектной документации строительства объекта. Тип и конструкцию закрепляемых геодезических пунктов устанавливают в программе.

Последствия:

1) Использование пунктов съемочной геодезической сети в качестве ГРО не допускается (и является технически маловероятным) в соответствии с установленными требованиями.

2) Использование координат и отметок пунктов опорной плановой и высотной геодезических сетей не допускается без проверки устойчивости.

Причины [8]:

1) В соответствии с установленными требованиями определение плановых координат пунктов ГРО не может выполняться методом проложения теодолитных ходов, его следует выполнять линейно-угловыми построениями (триангуляция, полигонометрия) или с применением спутниковой аппаратуры.

2) В соответствии с установленными требованиями использование координат и отметок пунктов опорной (съемочной) плановой и высотной геодезических сетей не допускается, допускается включение в состав ГРО знаков опорной плановой и высотной геодезических сетей, заложенных в период изыскательских работ. Устойчивость знаков ГРО должна проверяться не реже двух раз в год (в весенний и осенне-зимний период).

3) В соответствии с установленными требованиями закрепление пунктов ГРО временными знаками не допускается, так как необходимо обеспечить сохранность знаков, закрепляющих пункты ГРО на весь период строительства (включая период между завершением изысканий и началом строительства).

Предложения:

1) Пункт 4.17 СП 317.1325800.2017. Исключить слова «и/или съемочные геодезические сети».

2) Пункт 4.17 СП 317.1325800.2017. Заменить слова «указанных сетей» на «ОГС».

Пункт 5.3.1.13 СП 317.1325800.2017. Число пунктов постоянного геодезического съемочного обоснования и долговременно закрепленных пунктов на застроенной территории назначается в программе и, как правило, принимается не менее 30 % общего числа пунктов съемочной геодезической сети. Места закрепления пунктов должны обеспечивать возможность их применения для обновления создаваемых инженерно-топографических планов. На пункты постоянного съемочного обоснования и долговременного закрепления составляют абрисы и каталоги (списки) координат и высот.

Последствия: если расходы на выполнение дополнительных работ по закреплению постоянных и/или долговременных пунктов съемочной геодезической сети не будут включены в соответствующий сметный расчет, вероятность выполнения этих работ за счет собственных средств исполнителя мала.

Причины:

1) В соответствии с установленными требованиями цены на создание инженерно-топографических планов в масштабах 1:500 – 1:10000 учитывают расходы на создание планово-высотной съемочной сети с закреплением точек сети и привязкой ее к исходным пунктам [9].

Предложения:

1) Пункт 5.3.1.13 СП 317.1325800.2017. Исключить.

Подпункт 5.3.1.14 СП 317.1325800.2017. В случае отсутствия на участке инженерных изысканий нивелирных пунктов, высотная съемочная геодезическая сеть должна закрепляться нивелирными пунктами (реперами, марками) в соответствии с требованиями задания, но не менее чем двумя на участок работ.

Последствия:

1) Если расходы на выполнение дополнительных работ по закреплению постоянных и/или долговременных пунктов съемочной геодезической сети не будут включены в соответствующий сметный расчет, вероятность выполнения этих работ за счет собственных средств исполнителя мала.

2) При выполнении топографической съемки методом спутниковых определений в режиме RTK от постоянно действующих базовых станций требование по созданию съемочной геодезической сети является избыточным.

3) Количество доступных постоянно действующих базовых станций на участке производства работ может оказаться недостаточным для создания съемочной геодезической сети методом спутниковых геодезических определений.

Причины:

1) В соответствии с установленными требованиями цены на создание инженерно-топографических планов в масштабах 1:500 – 1:10000 учитывают расходы на создание планово-высотной съемочной сети с закреплением точек сети и привязкой ее к исходным пунктам [9].

2) В соответствии с установленными требованиями инженерно-геодезические изыскания выполняются для получения достоверных и достаточных топографо-геодезических материалов и данных о ситуации и рельефе местности, необходимых для осуществления градостроительной деятельности. В составе инженерно-геодезических изысканий создание съемочной геодезической сети выполняется при необходимости [3, 6].

3) В соответствии с установленными требованиями при спутниковых геодезических определениях число исходных пунктов должно быть не менее четырех в плане и пяти по высоте [6].

Предложения:

1) Пункт 5.3.1.14 СП 317.1325800.2017. Исключить.

Подраздел 5.6 СП 317.1325800.2017. Специальные геодезические и топографические работы при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Последствия:

1) Специальные геодезические и топографические работы при строительстве и реконструкции зданий и сооружений не должны выполняться в составе проектно-изыскательских работ.

2) Подраздел 5.6 СП.317.1325800.2017 не должен дублировать требования СП 126.13330.2017.

Причины:

1) В соответствии с установленными требованиями затраты, связанные с созданием геодезической разбивочной основы для строительства, включаются в главу 1 сводного сметного расчета, стоимость затрат на работы по инженерным изысканиям включается в главу 12 сводного сметного расчета [10].

2) В соответствии с установленными требованиями при разработке свода правил не допускается дублирование требований национальных стандартов Российской Федерации и других сводов правил [4, 5].

Предложения:

1) Подраздел 5.6 СП 317.1325800.2017. Исключить.

Заключение

Основной причиной возникновения сложившейся ситуации с техническими требованиями, содержащимися в документах национальной системы стандартизации, по мнению автора, является несогласованность деятельности технических комитетов по стандартизации ТК506 «Инженерные изыскания и геотехника» и ТК465 «Строительство». Это привело к тому, что инженерные изыскания выделились в некую самостоятельную область градостроительной деятельности, хотя они, всего лишь, обеспечивают изучение природных условий и факторов техногенного воздействия в целях подготовки данных по обоснованию материалов, необходимых для территориального планирования, планировки территории и архитектурно-строительного проектирования [3].

Каждое техническое требование документов национальной системы стандартизации должно базироваться на основе результатов научных исследований (испытаний) и измерений, приобретенного практического опыта применения новых видов продукции, процессов и технологий [4, 5]. Исполнитель инженерных изысканий должен иметь полное представление о причинах установления того или иного технического требования.

После прекращения действия Постановления Правительства Российской Федерации от 05.03.2007 № 145 с 01.03.2028 [11] использование технических требований, не соответствующих законодательству о стандартизации, сделает невозможным или существенно затруднит деятельность в сфере оказания услуг по технологическому и стоимостному инжинирингу.

Проектно-изыскательскому сообществу требуются качественно разработанные документы национальной системы стандартизации, обеспечивающие соответствие общих характеристик, правил и общих принципов современному уровню развития науки, техники и технологий, передовому отечественному и зарубежному опыту, а также непротиворечивость и отсутствие дублирующих положений [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. От 25.12.2023) «О техническом регулировании».
2. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. От 25.12.2023) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. «СП 47.13330.2016. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96» (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 30.12.2016 № 1033/пр) (ред. от 30.12.2020).
4. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ (ред. от 30.12.2020) «О стандартизации в Российской Федерации».
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 01.07.2016 № 624 (ред. от 25.03.2025) «Об утверждении Правил разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил».
6. «СП 317.1325800.2017. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 22.12.2017 № 1702/пр) (ред. от 27.12.2024).
7. Макарова Н. В., Ризванова Р. Г. Задание на выполнение инженерных изысканий: теория и практика // Вестник государственной экспертизы. 2024. № 01. С. 68-73.
8. «СП 126.13330.2017. Свод правил. Геодезические работы в строительстве. СНиП 3.01.03-84» (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.10.2017 № 1469/пр) (ред. от 26.12.2024).
9. «Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства. Инженерно-геодезические изыскания» (утв. Постановлением Госстроя РФ от 23.12.2003 № 213).
10. Приказ Минстроя России от 04.08.2020 № 421/пр (ред. от 23.01.2025) «Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации» (зарегистрировано в Минюсте России 23.09.2020 № 59986).
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2007 № 145 (ред. от 28.12.2024) «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

© Д. Н. Волежжанин, 2025

А. С. Горилько^{1✉}, Н. М. Рябова¹, А. Р. Якушева¹

Выполнение высокоточного полигонометрического хода короткими лучами для создания планового обоснования на техногенном геодинамическом полигоне

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

Аннотация. В данной статье выполнен обзор и анализ применения традиционных методов геодезических измерений для определения горизонтальных смещений на техногенных геодинамических полигонах. Известно, что наиболее часто используется метод статических спутниковых определений. Данный метод достаточно хорошо зарекомендовал себя в части определения плановых координат рабочих пунктов на исследуемых территориях. Однако не во всех случаях спутниковый метод может быть применен. Прежде всего это связано с отсутствием условий для качественных наблюдений. При появлении в геодезическом производстве высокоточных тахеометров с более точной светодальномерной частью для решения ряда научно-производственных задач предлагается создавать плановое обоснование методом высокоточной полигонометрии короткими лучами. Выполнен предрасчет точности с учетом ошибок, возникающих при горизонтировании визирных целей. Результаты предрасчета показали что современными роботизированными тахеометрами можно выполнить ход полигонометрии в прямом и обратном направлении со средней квадратической ошибкой в слабом месте от 1,0 до 4,0 мм, в зависимости от числа сторон и длины хода.

Ключевые слова: техногенный геодинамический полигон, горизонтирование, отражательная призма, высокоточный тахеометр, полигонометрический ход короткими лучами

A. S. Gorilko^{1✉}, N. M. Ryabova¹, A. R. Yakusheva¹

Performing high-precision polygonometric running with short beams to create a planning justification at a man-made geodynamic landfill

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

Abstract. This article provides an overview and analysis of the application of traditional geodetic measurement methods to determine horizontal displacements at man-made geodynamic polygons. It is known that the method of static satellite definitions is most often used. This method has proven itself quite well in terms of determining the planned coordinates of work sites in the studied territories. However, the satellite method cannot be applied in all cases. First of all, this is due to the lack of conditions for qualitative observations. When high-precision total stations with a more accurate light-measuring part appear in geodetic production, it is proposed to create a planning justification using high-precision short-beam polygonometry to solve a number of scientific and production tasks. The accuracy was calculated taking into account the errors that occur during the horizontal alignment of sighting targets. The results of the preliminary calculation showed that modern robotic total stations can perform polygonometry in the forward and reverse directions with an average square error in the weak spot from 1.0 to 4.0 mm, depending on the number of sides and the length of the stroke.

Keywords: technogenic geodynamic polygon, levelling, reflective prism, high-precision total station, polygonometric short ray traverse

Введение

В настоящее время во многих странах мира активно развивается атомная энергетика. Это обусловлено энергетической независимостью, стабильностью цен на электроэнергию, компактностью размещения атомных электростанций (АЭС) и другими причинами [1].

В России атомная энергетика по сравнению с другими странами развивается наиболее стремительно. По данным 2024 года, доля российской атомной энергетики в мировом масштабе составляет 18,4 %, а доля России по реализации новых проектов в сфере строительства новых АЭС в разных странах – 80 % [1].

Одним из перспективных направлений является строительство АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. При этом топливом для АЭС с таким типом реакторов будет являться высокорadioактивное ядерное топливо. После его переработки получается вторичное топливо, которое сжигается в реакторе [1]. Так как в специальных инженерных сооружениях будет перерабатываться высокообогащенное ядерное топливо, то требования к точности, цикличности и безопасности геодезических работ повышаются.

Для своевременного выявления горизонтальных и вертикальных смещений на промышленных площадках строительства объектов атомной промышленности и других технически сложных и особо опасных инженерных сооружений создаются техногенные геодинамические полигоны (ТГП). На ТГП размещаются пункты с принудительным центрированием, что дает возможность создания высокоточной геодезической сети, исключая ошибки за центрировку и редукцию.

Вертикальные смещения на ТГП измеряются как правило методом геометрического нивелирования I класса. Горизонтальные смещения измеряются с применением спутниковых технологий и высокоточными линейно-угловыми измерениями [2].

Появление электронных тахеометров с улучшенными техническими характеристиками способствует совершенствованию методов линейно-угловых измерений [3].

В данной статье приводится обзор и анализ применения высокоточных роботизированных тахеометров для создания высокоточного планового обоснования на территории ТГП объектов атомной энергетики. Предлагается к применению принципиальная новая схема линейно-угловых измерений – высокоточная полигонометрия короткими визирными лучами.

Методы и материалы

Выше было указано, что появление электронных тахеометров с улучшенными техническими характеристиками способствует совершенствованию методов линейно-угловых измерений. Прежде чем анализировать точность указанных приборов, рассмотрим требования нормативно-технических документов по

определению горизонтальных и вертикальных смещений зданий и сооружений, размещенных на промышленных площадках АЭС.

В табл. 1 приводятся нормы точности определения горизонтальных и вертикальных смещений [4].

Таблица 1

Требования к точности определения вертикальных
и горизонтальных перемещений

Объект исследования	Допустимая погрешность измерения смещений, мм	
	вертикальных	горизонтальных
Рабочие пункты техногенного геодинамического полигона, строящейся или эксплуатируемой АЭС	1,0	5,0
Деформационные марки, размещенные на несущих конструкциях технически сложных и особо опасных инженерных сооружений	1,0	2,0
Деформационные марки на земляных сооружениях	10,0	15,0

Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что особые требования предъявляются к контролю положения в плане и по высоте земной поверхности площадки строительства АЭС (рабочие пункты ТПП) и несущих конструкций технически сложных и особо опасных инженерных сооружений (размещенные на них деформационные марки).

Работа АЭС с реакторами на быстрых нейтронах может подразумевать реализацию замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ). Это означает, что на площадке строящейся или эксплуатируемой АЭС должны размещаться следующие инженерные сооружения (модули):

- машинный зал;
- модуль временного хранения среднеактивных и низкоактивных отходов;
- модуль переработки высокоактивных и низкоактивных отходов;
- модуль переработки отработанного ядерного топлива;
- модуль хранения высокоактивных отходов;
- модуль хранения отработанного ядерного топлива;
- модуль фабрикации и рефабрикации топлива [1] .

Перечисленные выше инженерные сооружения относятся к 1 и 2 классу ответственности за ядерную и радиационную безопасность, а также сейсмостойкость.

Контроль вертикальных смещений для указанных сооружений выполняется методом геометрического нивелирования I класса. Контроль горизонтальных смещений, как уже указывалось, определяется спутниковыми и традиционными (линейно-угловыми) методами измерений.

В настоящее время производители геодезического оборудования предлагают к эксплуатации роботизированные тахеометры с техническими характеристиками: $m_\beta = 1,0''$ $m_s = 0,5 - 2,0$ мм [3] .

Несмотря на высокую стоимость таких приборов, актуальность их эксплуатации на объектах атомной энергетики только возрастает.

Одной из основных задач деформационного мониторинга объектов атомной энергетики является построение опорной геодезической сети пунктов с принудительным центрированием. При использовании высокоточных тахеометров принимаются во внимание различные схемы линейно-угловых построений. Поскольку на промышленных площадках АЭС важно определять координаты всех рабочих пунктов с принудительным центрированием, то целесообразно рассмотреть единую геометрическую схему, например, замкнутый ход полигонометрии.

На точность измерений при выполнении хода полигонометрии влияют ошибки, обусловленные внешними условиями, точностью применяемого прибора, подвижностью пунктов и некоторыми другими факторами.

Фактор подвижности пунктов на промышленных площадках АЭС сводится к минимуму поскольку они заложены ниже границы сжимаемой толщи. Схема измерений на станции при выполнении полигонометрического хода по пунктам с принудительным центрированием представлена на рис.1.

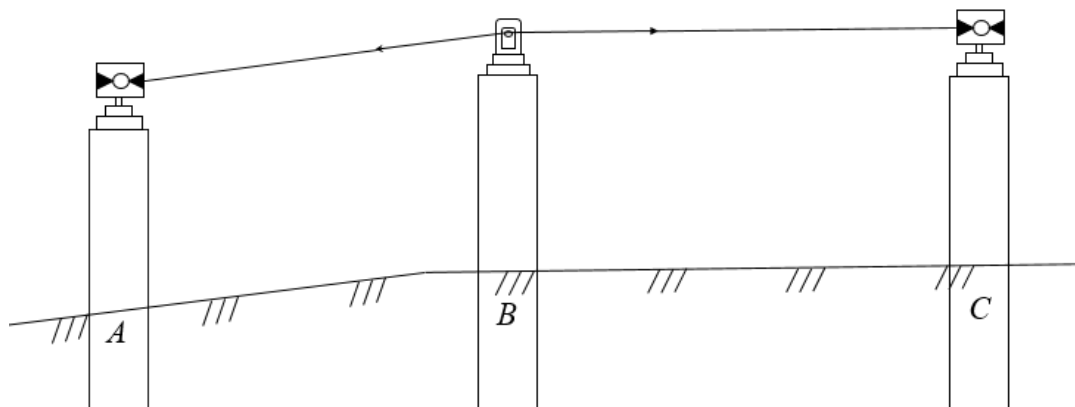


Рис.1. Схема измерений на станции при выполнении полигонометрического хода по пунктам с принудительным центрированием

При осуществлении такой схемы, как представлено на рис.1, отражательные призмы с маркой закреплены на адаптере с трегером. Точность установки системы «трегер-адаптер» в горизонтальной плоскости зависит от точности установки встроенного уровня. Уровни могут быть круглые и цилиндрические. Точность круглого уровня варьируется от 6' до 8', соответственно, а точность цилиндрического уровня достигает до 1'. Графическая интерпретация ошибки горизонтирования из-за неточности установки уровней представлена на рис.2.

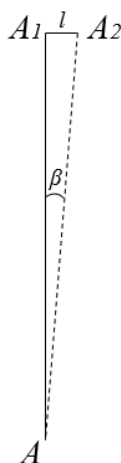


Рис.2. Графическая интерпретация ошибки горизонтирования из-за неточности установки уровней

Результаты

На рис.2 представлено, что из-за неточности установки уровня образуется угол β между вертикальной (отвесной) линией AA_1 и линией AA_2 , проходящей через центр системы «трегер-адаптер». Величина l является линейным сдвигом от центра пункта в данном случае. Это означает, что от точности горизонтирования зависит точность определения плановых координат.

Рассчитаем величину l при использовании круглого и цилиндрического уровней для наихудшего случая по формуле [5]

$$l = \frac{\beta'' \cdot S}{206265''} \quad (1)$$

где β'' - величина угла, образованного из-за неточности установки уровня,

S – высота установки системы «трегер-адаптер-отражательная призма с маркой», $\rho = 206265''$ - число секунд в одном радиане.

Высота системы «трегер-адаптер-отражательная призма с маркой» в зависимости от модели адаптера может иметь разные значения. При использовании разных моделей адаптеров, высота S может варьироваться от 200 до 300 мм.

Результаты расчетов по представленной выше формуле представлены в табл.2.

Таблица 2

Результаты расчетов величины линейного сдвига

Высота S установки системы «трегер-адаптер-отражательная призма с маркой», мм	Величина l , в мм	
	При круглом уровне (наихудший случай 480'')	При цилиндрическом уровне (наихудший случай 60'')
200	0,47	0,06
300	0,70	0,09

Анализируя данные в табл.2 следует сделать вывод, что для выполнения высокоточных измерений традиционным способом рекомендуется использовать адаптеры с цилиндрическим уровнем. Следует учесть, что этот расчет выполнен для наихудшего случая, на практике точность горизонтирования может быть выше. Тем не менее наличие ошибки центрирования ограничивает количество станций в ходе. В связи с этим выполним априорную оценку точности измерений при создании планового обоснования методом полигонометрии. Выполним расчет величины средней квадратической ошибки (СКО) m в зависимости от количества станций и длины хода по приближенной формуле [5–6]

$$m = \sqrt{[m_s^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot L^2 \cdot \frac{n+3}{12}} \quad (2)$$

где m_s – СКО измерения расстояния, m_β – СКО измерения угла, ρ – число секунд в одном радиане, L – длина хода, n – количество сторон в ходе.

При выполнении расчетов рассмотрим случай применения высокоточного роботизированного тахеометра с паспортными характеристиками точности: $m_s = 0,5$ мм и $m_\beta = 1''$. Точность измерений рассмотрим при количестве сторон от 1 до 10, при том что измеряемое расстояние в пределах 100 м (короткие визирные лучи).

Результаты расчетов по приближенной формуле приведены в табл.3.

Таблица 3

Результаты расчетов величины СКО положения пункта в слабом месте полигонометрического хода по приближенной формуле

Количество сторон (n)	Расстояние L , м	СКО (m), мм
1	100,000	0,60
2	200,000	0,80
3	300,000	1,14
4	400,000	1,56
5	500,000	2,04
6	600,000	2,57
7	700,000	3,14
8	800,000	3,75
9	900,000	4,39
10	1000,000	5,07

Обсуждение

Известно, что при увеличении количества сторон и общей длины хода возрастает ошибка положения пункта в слабом месте, что и показали данные в табл. 3. Обращая внимание на данные, представленные табл. 2, учитываем, что на каждой станции из-за ошибки горизонтирования идет потеря точности от 0,06 до 0,09 мм при использовании адаптеров с цилиндрическим уровнем. При количестве сторон равным 10, общая ошибка горизонтирования равна 0,81 мм. Для по-

вышения точности полигонометрического хода необходимо выполнять измерения в прямом и обратном направлении. Обратный ход будет дополнять и контролировать результаты прямого хода. Из теории математической обработки результатов геодезических измерений известно, что при прямом и обратном ходе точность возрастет в 1,4 раза.

Заключение

Учитывая нормативно-технические требования, представленные в табл. 1, видим, что для определения горизонтальных смещений земной поверхности ТГП точность должна быть не хуже 5,0 мм. По данным табл. 3 и учитывая накопление ошибки за горизонтирование, следует сделать вывод, что для контроля горизонтальных смещений на ТГП следует прокладывать ход высокоточной полигонометрии при количестве сторон не более 8 при общей длине хода не более 800 м.

При использовании высокоточной полигонометрии для создания опорной сети в целях контроля деформационного состояния технически сложных и особо опасных инженерных сооружений количество сторон должно быть не более 4 при длине хода не более 400 м.

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 07.05.2025).
2. Сравнение способов создания обоснования на промплощадке / А. С. Горилько, М. А. Минаева, Н. М. Рябова, А. М. Астапов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Междунар. научн. техн. конгр., 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Междунар. научн. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. 60–64. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-60-64.
3. 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 05.05.2025).
4. СТО СРО-Г6054295400007–2023. Геодезический мониторинг. Наблюдение за осадками и кренами зданий и сооружений. – Москва : Союзатомгео, 2023. – 160 с. – Текст : непосредственный.
5. Справочник геодезиста [Текст] / под ред. В. Д. Большакова. – Москва: «Недра», 1985. – 455 с.
6. Карев П. А., Лесных И. В., Павлова А. И. Геодезия. Проектирование геодезического обоснования для крупномасштабных топографических съемок, землеустроительных и кадастровых работ : метод. указания по выполнению курсовой работы. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 74 с.

© А. С. Горилько, Н. М. Рябова, А. Р. Якушева, 2025

А. А. Гребенников¹✉

Применение мобильного лазерного сканера Goslam RS300 при выполнении маркшейдерско-геодезических работ на месторождениях, разрабатываемых открытым способом

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

Аннотация. Технология мобильного лазерного сканирования предлагает высокую точность и скорость сбора данных, что является значительным преимуществом для горнодобывающих предприятий, стремящихся повысить эффективность своей работы и снизить экономические затраты на производство работ. В статье представлен анализ методик сканирования и обработки облаков точек мобильным лазерным сканером Goslam RS300 на месторождениях, разрабатываемых открытым способом. Рассмотрена комплектация и технические характеристики мобильного лазерного сканера Goslam RS300, методики лазерного сканирования, а также методики обработки облаков точек. В результате проведенного исследования выявлены достоинства и недостатки при работе с мобильным лазерным сканером Goslam RS300.

Ключевые слова: лазерное сканирование, Goslam RS300, обработка облака точек, Goslam LidarWorks, подсчет объема, построение трехмерных моделей, Goslam Manager

A. A. Grebennikov¹✉

Application of mobile laser scanner Goslam RS300 in surveying and geodesy works at open pit mines

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

Abstract. Mobile laser scanning technology offers high accuracy and speed of data collection, which is a significant advantage for mining companies looking to improve their efficiency and reduce the economic cost of operations. The article analyzes the methods of scanning and processing of point clouds by mobile laser scanner Goslam RS300 at the fields developed by open pit method. The equipment and technical characteristics of the mobile laser scanner Goslam RS300, methods of laser scanning, as well as methods of point clouds processing are considered. As a result of this study, the advantages and disadvantages of using the Goslam RS300 mobile laser scanner were identified.

Keywords: laser scanning, Goslam RS300, point cloud processing, Goslam LidarWorks, volume calculation, three-dimensional modeling, Goslam Manager

Введение

Выполнение лазерного сканирования является важной производственной задачей, которая решается в следующих сферах деятельности человека:

- строительство и реконструкция инженерных сооружений (контроль геометрических параметров);
- функционирование транспортных сетей (оценка состояния дорожно-транспортных сетей);

- функционирование коммунального хозяйства (выполнение оцифровки и документирования коммуникаций);
- дефектоскопия (выявление дефектов сооружений и производственных объектов);
- геодезия и маркшейдерия (создание цифровых моделей рельефа и подсчет объемов);
- археология и палеонтология (создание цифровых копий артефактов);
- медицина (диагностика и создание трехмерных моделей).

В список задач, выполняемых службой главного маркшейдера на горнодобывающих предприятиях с использованием лазерного сканера, входит лазерное сканирование следующих объектов:

- инженерных сооружений на объектах месторождения;
- рудных штабелей на горнорудных месторождениях;
- бортов карьера;
- скважин буровзрывных и геологоразведочных работ;
- с целью наблюдения за опасными зонами, например, за оползнями.

Целью данного исследования является анализ методик сканирования и обработки облака точек мобильным лазерным сканером Goslam RS300 на месторождениях, разрабатываемых открытым способом.

Методы и материалы

Мобильный лазерный сканер Goslam RS300 представляет собой сканер, основанный на технологии SLAM, которая обеспечивает актуальное определение пространственного положения, даже в условиях, когда нет доступа к системе спутникового позиционирования [1, 2]. Перемещаясь по помещению или на открытой местности, сканер самостоятельно определяет свое местоположение в пространстве, используя для этого информацию о соседних объектах вокруг сканера, при этом одновременно осуществляя их сканирование.

Благодаря инновационному сканеру Goslam RS300 сканирование происходит намного быстрее, чем с использованием обычного стационарного сканера [7]. Для начала сканирования достаточно выполнить сборку сканера и включить устройство, после чего начать двигаться вдоль объекта сканирования. После прохождения всей необходимой территории для завершения процесса достаточно нажать кнопку выключения, после чего вставить флешку в сканер для сохранения полученных данных в виде облака точек [3, 4].

Комплектация мобильного лазерного сканера Goslam RS300 представлена на рис. 1.



Рис. 1. Комплектация мобильного лазерного сканера Goslam RS300:

1 – переносное сканирующее устройство; 2 – кабель передачи данных; 3 – кабель зарядного устройства; 4 – устройство записи данных; 5 – хост-адаптер; 6 – ручка-держатель сканера; 7 – крепление для мобильного телефона; 8 – наплечный ремень; 9 – USB-накопитель; 10 – кабель для передачи данных

Основные технические характеристики мобильного лазерного сканера Goslam RS300 представлены в табл. 1 [5, 6].

Таблица 1

Основные технические характеристики

Характеристика	Показатель
Класс лазера	Класс I
Точность измерений	1 см
Дальность измерений	300 м
Угол поля зрения	360°×285°
Скорость сканирования	640 000 точек в секунду
Внутренняя память	1 000 Гб
Диапазон рабочей температуры	От минус 30°С до плюс 60°С
Пылевлагозащита	IP 65
Время работы	4 часа
Вес	1,9 кг

Лазерное сканирование может выполняться в ручном режиме, а также с установкой лазерного сканера на рюкзаке и с применением спутникового приемника.

Мобильный лазерный сканер Goslam RS300 в сборе на рюкзаке представлен на рис. 2.

Для лазерного сканирования необходимо выполнить сборку спутникового приемника и лазерного сканера согласно схеме, показанной на рис. 2.

Далее рассмотрим методику подготовки спутникового приемника и лазерного сканера к работе.



Рис. 2. Мобильный лазерный сканер Goslam RS300 в сборе на рюкзаке

1. Включается спутниковый приемник через кнопку питания и выполняется подключение к полевому контроллеру.
2. Включается лазерный сканер, для этого необходимо нажать и удерживать в течении 3 секунд кнопку питания на накопителе данных.
3. Выполняется подключение через порт NMEA, в качестве вывода будет COM-порт и устанавливается значение «0.1» для параметра GPBGA. Порт NMEA – это стандарт передачи данных оборудования навигации, связи и других информационных сетей.
4. Устанавливается высота вехи (в нашем случае выдвигающиеся телескопические рейки на рюкзаке), после чего необходимо убедиться, что спутниковый приемник дает фиксированное решение.
5. На мобильном устройстве в настройках Wi-Fi выполняется подключение к сети под названием Goslam, которую «создает» накопитель данных.
6. Выполняется запуск приложения Goslam Manager (рис. 3) на мобильном устройстве, и далее необходимо убедиться в том, что все функционирует в нормальном режиме, после чего можно приступать к лазерному сканированию.

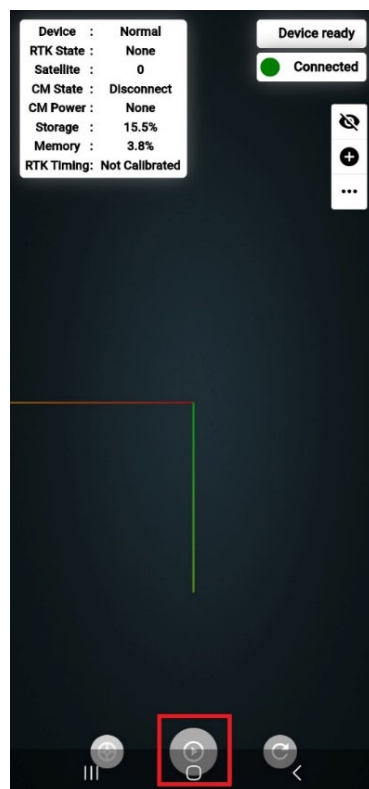


Рис. 3. Интерфейс приложения Goslam Manager

После этого производится выполнение полевых измерений следующим образом.

1. Выполняется рекогносцировка объекта сканирования и заранее планируется рабочая траектория движения, которая должна представлять собой замкнутую линию.

2. Запускается процесс сканирования на мобильном устройстве, после подтверждения начала сканирования оператору необходимо оставаться неподвижным в течении 15 секунд, следуя указаниям на экране мобильного устройства (лазерный сканер производит инициализацию). Быстрое начало движения может повлиять на качество позиционирования облака точек.

3. Движение по запланированной траектории производится следующим образом. Сначала медленно пройти около 5 метров по прямой линии, затем сделать плавный поворот на 90° , после чего идти размеренным шагом по рабочему маршруту. Заканчивать маршрут следует тем же образом.

4. Остановить процесс сканирования на мобильном устройстве, после подтверждения данного действия необходимо оставаться неподвижным в течении 15 секунд, следуя указаниям на экране, продолжение движения может повлиять на качество позиционирования облака точек.

После завершения лазерного сканирования автоматически начинается процесс сохранения полевых данных.

На рис. 4 представлен типовой маршрут выполнения лазерного сканирования на примере съемки рудного штабеля.



Рис. 4. Типовой маршрут лазерного сканирования на примере съемки рудного штабеля

При случайном нажатии определенных кнопок на мобильном устройстве (или нестабильности соединения) подключение к лазерному сканеру может прерваться. Тогда в этом случае в рабочем окне приложения появится предложение переподключиться. Сканирование и запись данных в период отсутствия связи не остановится (т.е. нет необходимости выполнять повторное сканирование).

При выполнении лазерного сканирования на крупных объектах, например, при сканировании рудного склада, следует выполнять отдельные сканы на каждый штабель – это значительно увеличит скорость обработки полевых данных лазерного сканирования.

Для лазерного сканирования в ручном режиме необходимо выполнить сборку оборудования. Далее рассмотрим методику сборки лазерного сканера и подготовки к работе в ручном режиме.

1. Подсоединяется плечевой ремень к креплениям на накопителе данных.
2. Подключаются 2 аккумулятора к накопителю данных.
3. Устанавливается лазерный сканер на подставку с рукоятью.
4. Подключается кабель передачи данных к накопителю данных (прямой штекер) и подключается кабель к лазерному сканеру (Г-образный штекер).

Лазерный сканер Goslam RS300 для ручного режима сканирования представлен на рис. 5.



Рис. 5. Лазерный сканер Goslam RS300 для ручного режима сканирования

Далее рассмотрим методику лазерного сканирования в ручном режиме.

1. Начало выполнения ручного сканирования идентично лазерному сканированию с применением рюкзака и спутникового приемника. Для этого включается накопитель данных, присоединяются к сети Wi-Fi через мобильное приложение и запускается процесс лазерного сканирования.

2. Отличием ручного режима лазерного сканирования от режима сканирования со спутниковым приемником является то, что необходимо привязывать точки позиционирования по маршруту сканирования, для этого размещают метки в количестве не менее 4-х штук по углам снимаемой площади и 1 метку в центре объекта сканирования. Выполняют планово-высотную привязку положения точек при помощи спутникового приемника или электронного тахеометра.

3. В процессе движения по траектории сканирования подходят к метке (которая была закоординирована), замедляя шаг, после чего плавно совмещают перекрестие в подставке ручки сканера с центром метки (рис. 6).



Рис. 6. Перекрестие в ручке лазерного сканера

4. Нажимают на кнопку «записи метки», которая находится на левой панели лазерного сканера (рис. 7). После этого на экране состояния появится сообщение о начале записи точки «Start recording». Через несколько секунд появится сообщение о том, что точка записана. Далее необходимо плавно поднять лазерный сканер и продолжить съемку объекта. Таким же образом записывают все точки привязки по маршруту лазерного сканирования.



Рис. 7. Кнопка «записи метки»

5. Останавливают процесс лазерного сканирования на мобильном устройстве, и после подтверждения данного действия необходимо оставаться неподвижным в течении 15 секунд, следуя указаниям на экране, так как продолжение движения может повлиять на качество позиционирования облака точек.

Далее рассмотрим методику первичной обработки данных лазерного сканирования с помощью приложения Goslam Manager на мобильном устройстве.

1. Включить накопитель данных с помощью хост-адаптера, который подключен к постоянному источнику питания, также можно использовать аккумуляторы.

2. Вставить USB-накопитель в имеющееся гнездо на торцевой части накопителя данных и выполнить сопряжение накопителя данных и мобильного устройства.

3. Открыть список проектов полевых данных, которые хранятся в накопителе данных (раздельно по каждому скану), и войти в меню с настройками обработки, после чего установить следующие основные параметры обработки:

- максимальная дистанция;
- для параметра process mode (режим работы) имеются следующие варианты выбора из всплывающего диалогового окна: outdoor (на улице), standart (стандартный), indoor (в помещении);
- для параметра point density (плотность точек) имеются следующие варианты выбора из всплывающего диалогового окна: high density (высокая плотность), middle density (средняя плотность), low density (низкая плотность);

Сегментацию можно выполнять как внутри области выделения, так и снаружи.

3. Выполнить удаление шумов по всему облаку точек. Данный вид работы выполняется в автоматическом и ручном режимах, в ручном режиме оператору необходимо самостоятельно выбрать и удалить точки из облака.

4. Выполнить преобразование координат облака точек из системы координат CGCS2000 в систему координат WGS 84, а затем из системы координат WGS 84 в местную систему координат.

5. Выполнить создание цифровой модели рудного штабеля (рис. 9).

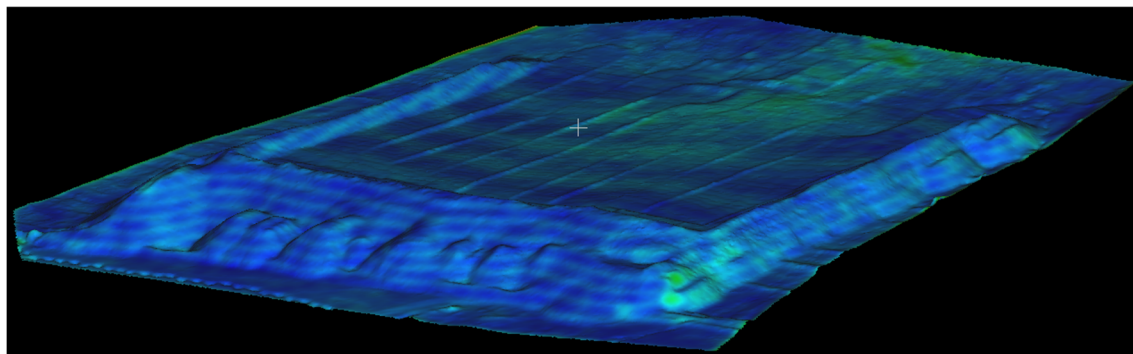


Рис. 9. Созданная цифровая модель рудного штабеля в программном комплексе Goslam LidarWorks

Для удобства можно выполнить экспорт данной цифровой модели в формате «.dxf» для выполнения различных операций с цифровой моделью в другом программном комплексе, например, для подсчета объема.

Заключение

Мобильный лазерный сканер Goslam RS300 представляет собой передовое оборудование, применяемое в горном деле и геодезическом производстве. Его функциональные возможности позволяют значительно улучшить процессы контроля и мониторинга в горнодобывающей отрасли.

На основании проведенных исследований и полевых измерений можно выделить ряд достоинств данного лазерного сканера.

1. Для привязки облака точек к системе координат месторождения не требуется дополнительное оборудование, например, электронный тахеометр, так как привязка облака точек происходит автоматически, с применением спутникового приемника.

2. Лазерный сканер имеет хорошую пылевлагозащиту, что позволяет выполнять лазерное сканирование в условиях повышенной запыленности.

3. Быстрая скорость подготовки к работе и само лазерное сканирование является ключевой особенностью данного лазерного сканера, за счет этого повышается безопасность, так как сокращается время работы оператора в потенциально опасных условиях работ.

4. Лазерное сканирование производилось в диапазоне температур от минус 45°С до плюс 35°С. Влияние температуры окружающей среды на качество лазерного сканирования замечено не было.

Также на основании проведенных исследований можно выделить ряд недостатков данного лазерного сканера.

1. Нет возможности использования спутниковых приемников от различных производителей, кроме производителя от марки SinoGNSS. При отсутствии данного спутникового оборудования придется специально покупать комплект для выполнения лазерного сканирования.

2. Программный комплекс Goslam LidarWorks и мобильное приложение Goslam Manager имеют неудовлетворительное качество перевода на русский язык, что может затруднить работу для начинающих пользователей.

Оценивая мобильный лазерный сканер Goslam RS300, можно отметить его удобство использования, высокую производительность и надежность. Данное оборудование способно значительно сократить время и усилия, затрачиваемые на проведение различных работ на горнодобывающем предприятии, что в итоге приводит к повышению эффективности работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. SLAM – эффективный контроль геометрии и объемов в горных выработках. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «НАВГЕОКОМ» : [Электронный ресурс]. – URL: https://ngcm.ru/blog/slam_mining_scan/?ysclid=m77a476fe5490082010 (дата обращения: 16.02.2025).

2. SLAM технология сканирования в геодезии и маркшейдерии, ее эффективность и возможности на примере СНС RS10. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «ФокусГео» : [Электронный ресурс]. – URL: <https://fgeo.ru/support/doc/slam-tehnologiya-skanirovaniya-v-geodezii-i-marksheyderii-ee-effektivnost-i-vozmozhnosti-na-primere/?ysclid=m779vpoqys732363221> (дата обращения: 16.02.2025).

3. Быков Л.В. Использование наземного лазерного сканирования при топографической съемке крупных масштабов / Быков Л.В., Нугманов А.А., Терновая О.Ю. // Каталог выпускных квалификационных работ ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина» : Сборник материалов по итогам учебной, научно-исследовательской и практической деятельности. – Омск : Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 159–163.

4. Кукушкин Д.А. Практический опыт применения технологии SLAM на базе лазерного сканера Goslam в строительстве и маркшейдерии / Кукушкин Д.А., Галахов В.П., Талтыкин В.В. // Инновационное развитие землеустройства : Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Самара, 31 марта 2023 года. – Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2023. – С. 94–101.

5. Мобильный лазерный 3D сканер GoSLAM RS300. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ» : [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gsi.ru/catalog/laser_scanner/goslam_rs300 (дата обращения: 16.02.2025).

6. Мобильный лазерный 3D сканер GoSLAM RS300. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «GoSLAM» : [Электронный ресурс]. – URL: <https://goslam.com> (дата обращения: 16.02.2025).

7. Точность SLAM сканера без использования ГНСС. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «НАВГЕОКОМ» : [Электронный ресурс]. – URL: https://ngcm.ru/blog/tochnost_slam_bez_gnss/?ysclid=m77ahcte2x72049166 (дата обращения: 16.02.2025).

© А. А. Гребенников, 2025

А. А. Гребенников¹✉

Технологическая схема производства маркшейдерско-геодезических работ при определении пространственного положения ствола буровой скважины

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

Аннотация. В настоящее время из имеющихся методов определения пространственного положения ствола буровой скважины активно применяются методы с применением инклинометров. Компании по производству геодезического оборудования производят полостные лазерные сканеры для быстрой и безопасной съемки недоступных пустот и подземных полостей. В статье представлена технологическая схема производства маркшейдерско-геодезических работ при определении пространственного положения ствола буровой скважины с применением мобильного лазерного сканера Goslam RS300. Рассмотрена классификация буровых скважин, технологическая схема производства работ, методика лазерного сканирования и камеральной обработки, а также оценка полученных результатов. В результате проведенного исследования разработана методика определения пространственного положения ствола буровой скважины.

Ключевые слова: лазерное сканирование, Goslam RS300, обработка облака точек, пространственное положение скважин, буровая скважина

A. A. Grebennikov¹✉

Technological scheme of surveying and geodesic works in determining the spatial position of the borehole hole

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

Abstract. Inclinometers are currently the most widely used of the available methods for determining the spatial position of the borehole. Surveying equipment companies also produce cavity laser scanners for quick and safe surveying of inaccessible voids and underground cavities. The article presents the technological scheme of surveying and geodesic works in determining the spatial position of the borehole using a mobile laser scanner Goslam RS300. The classification of boreholes, technological scheme of works, methodology of laser scanning and cameral processing, as well as evaluation of the obtained results are considered. As a result of the study, a methodology for determining the spatial position of the borehole has been developed.

Keywords: laser scanning, Goslam RS300, point cloud processing, spatial well position, borehole

Введение

В настоящее время существует большое количество видов буровых скважин. Однако, в недостаточном объеме имеются методы и приборы для определения пространственного положения буровых скважин.

Буровая скважина представляет собой горную выработку цилиндрической формы, протяженность ствола которой во много раз больше ее диаметра [1].

В настоящее время существуют следующие методы определения пространственного положения буровых скважин:

- магнитная инклинометрия;
- гироскопическая инклинометрия;
- кавернометрия;
- лазерное сканирование ствола скважины [4, 5, 7].

Из перечисленных выше методов определения пространственного положения ствола буровой скважины можно сделать вывод о том, что основным методом является инклинометрия.

Целью данного исследования является создание технологической схемы производства маркшейдерско-геодезических работ при определении пространственного положения ствола буровой скважины, а также разработка методики обработки данных лазерного сканирования скважин буровзрывных и геологоразведочных работ.

Методы и материалы

Классификация буровых скважин представлена на рис. 1 [1].

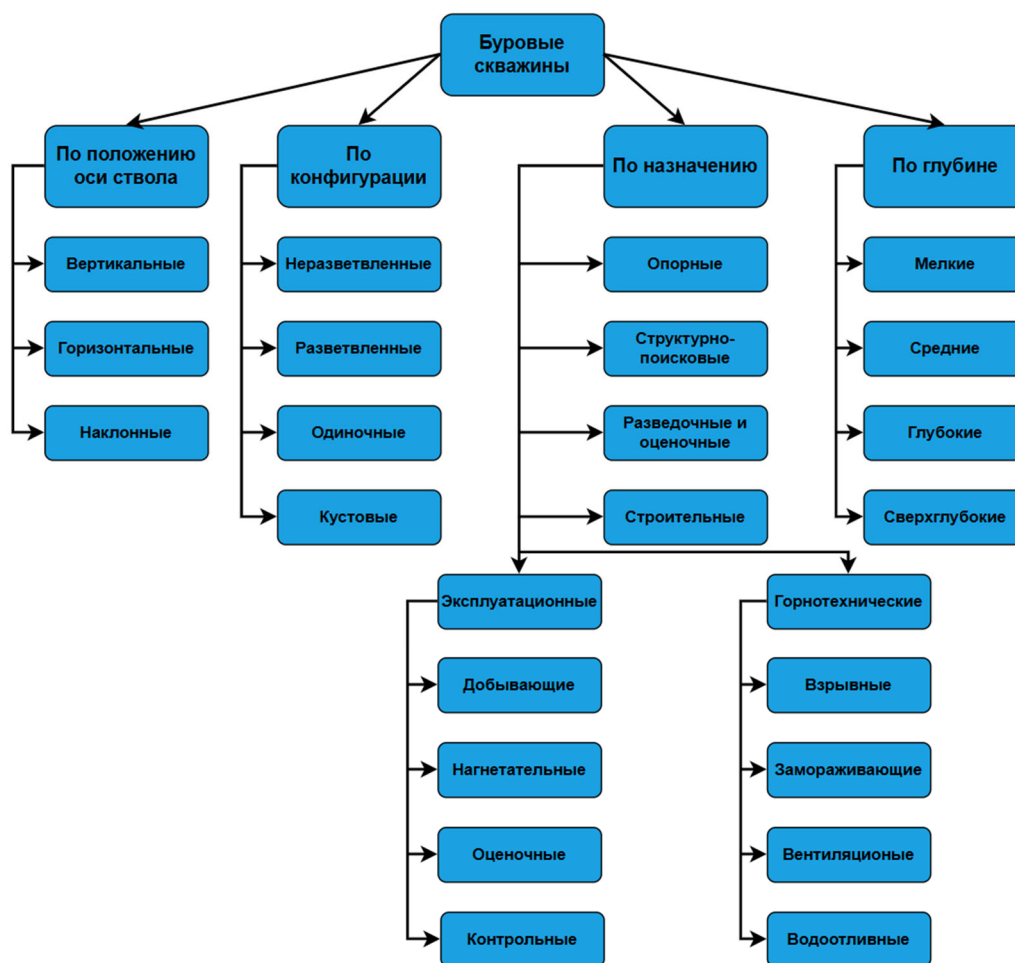


Рис. 1. Классификация буровых скважин

Технологическая схема производства маркшейдерско-геодезических работ при определении пространственного положения буровых скважин представлена на рис. 2.

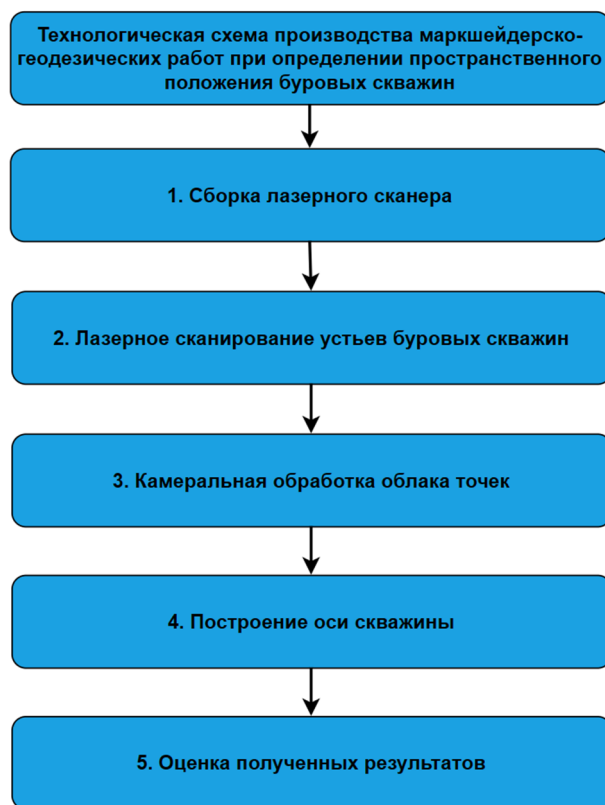


Рис. 2. Технологическая схема производства маркшейдерско-геодезических работ при определении пространственного положения буровых скважин

В предложенной технологической схеме на рис. 2 первым этапом выполнения измерений является сборка и подготовка лазерного сканера к работе. Лазерное сканирование может выполняться с установкой лазерного сканера на рюкзаке и с применением спутникового приемника, а также в ручном режиме [2]. После этого производится лазерное сканирование устьев буровых скважин следующим образом:

- необходимо заранее спланировать маршрут движения;
- необходимо останавливаться у каждой скважины примерно на 15-20 секунд;
- направление сканирования должно соответствовать направлению оси скважины.

На рис. 3 представлен типовой маршрут выполнения лазерного сканирования устьев буровых скважин.

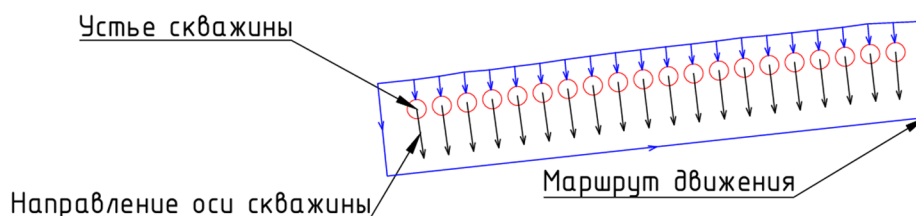


Рис. 3. Типовой маршрут выполнения лазерного сканирования устьев буровых скважин

На рис. 4 представлены схемы положения лазерного сканера при сканировании устьев буровых скважин с установкой лазерного сканера на рюкзаке и с применением спутникового приемника, а также в ручном режиме.

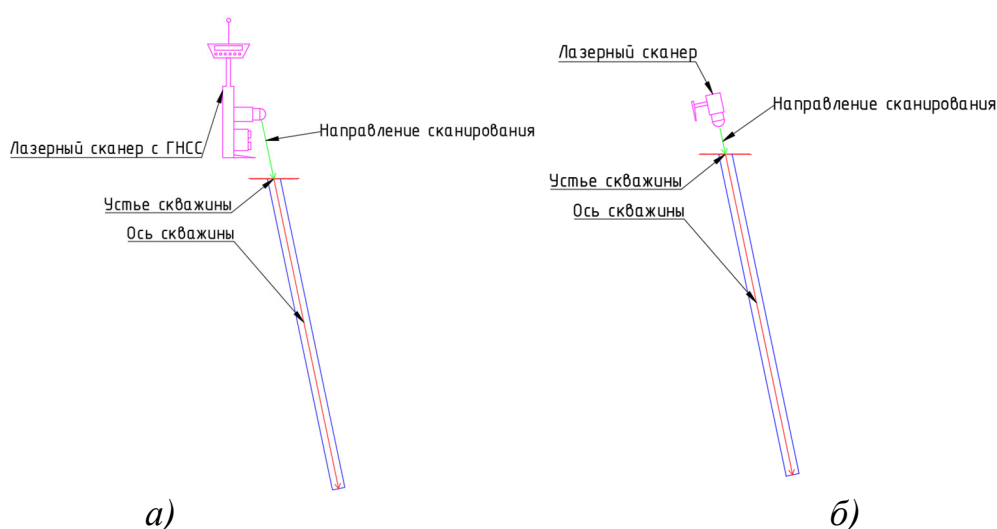


Рис. 4. Схемы положения лазерного сканера при сканировании устьев буровых скважин: а) на рюкзаке с применением спутникового приемника; б) в ручном режиме

Результаты

Лазерное сканирование устьев буровых скважин производилось автором с положением лазерного сканера на рюкзаке. Далее рассмотрим методику обработки облака точек после лазерного сканирования устьев буровых скважин с помощью программного комплекса Goslam LidarWorks.

1. Выполнить загрузку файлов после первичной обработки в мобильном приложении, а именно текстовый файл «ControlPoint». Этот файл содержит информацию о контрольных точках для привязки данных лазерного сканирования, а также файл с расширением «.las», который содержит облако точек, и он предварительно очищен от «шума» (отскоков отдельных групп точек от облака) при первичной обработке в самом накопителе данных [3, 6]. После этого выполнить сегментацию нужной области облака точек.

2. Выполнить удаление шумов по всему облаку точек только в ручном режиме, так как при использовании автоматического режима удаления шумов происходит удаление точек, необходимых для построения осей буровых скважин. Облако точек после сегментации и удаления шумов представлено на рис. 5.

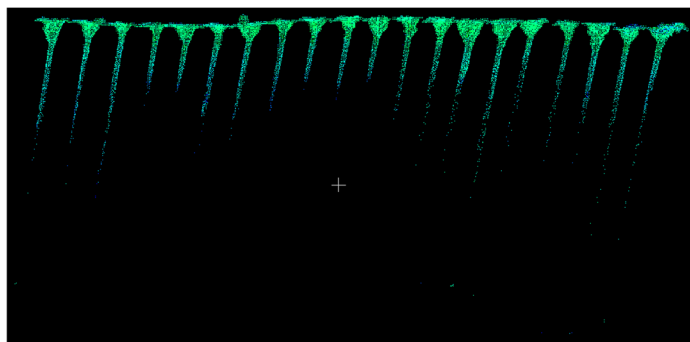


Рис. 5. Облако точек после сегментации и удаления шумов

3. Выполнить преобразование координат облака точек из системы координат CGCS2000 в систему координат WGS 84, а затем выполнить преобразование координат облака точек из системы координат WGS 84 в местную систему координат.

4. Выполнить экспорт облака точек в формате «.dxf» для построения осей скважин.

Далее выполняется построение оси скважины в программном комплексе AutoDesk Civil 3D. Облако точек в программном комплексе AutoDesk Civil 3D представлено на рис. 6.

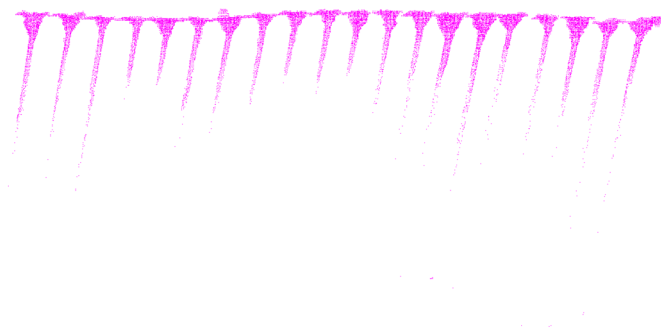


Рис. 6. Облако точек в программном комплексе AutoDesk Civil 3D

Рассмотрим методику построения оси скважины в программном комплексе AutoDesk Civil 3D, которая производится в следующей последовательности.

1. Выполняется аппроксимация точек окружностью по стенке скважины в верхней ее части.

2. Выполняется аппроксимация точек окружностью по стенке скважины в нижней ее части.

Результаты аппроксимации точек окружностью представлены на рис. 7.

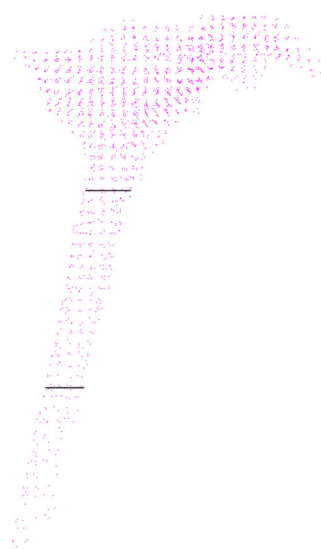


Рис. 7. Аппроксимация точек окружностью

3. Выполняется построение оси буровой скважины инструментом «3D полилиния» по центрам созданных окружностей с графическим отображением, которое показано на рис. 8.

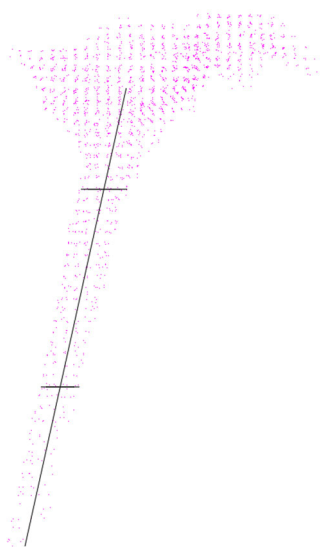


Рис. 8. Построение оси буровой скважины

4. Выполняется поворот облака точек в разных плоскостях (слева, справа, спереди, сзади) и визуальная оценка построенной оси буровой скважины.

Далее выполняется оценка полученных результатов, а именно определяется направление и угол наклона оси буровой скважины. Составляется акт контрольного замера устьев буровых скважин, а также схема положения устьев скважин. В акте контрольного замера устьев буровых скважин выполняется сравнение проектных значений с фактическими значениями. Допустимые отклонения параметров буро-

взрывных скважин, которые приняты на основе нормативных документов и опыта работы передовых горнодобывающих предприятий представлены в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые отклонения параметров буровзрывных скважин

Параметр	Допустимые отклонения
Смещение устья скважины от проектного положения	$\pm 0,4$ м
Глубина скважины	$\pm 0,4$ м
Направление оси скважины	$\pm 4^\circ$
Угол наклона оси скважины	$\pm 2^\circ$

Заключение

Результатом данного исследования является разработанная технологическая схема производства маркшейдерско-геодезических работ при определении пространственного положения ствола буровой скважины. Кроме того, представлена разработанная методика обработки данных лазерного сканирования скважин буровзрывных и геологоразведочных работ с последующим определением их пространственного положения. Выполненные разработки обеспечивают необходимую точность измерений и будут применяться на производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буровые скважины. – Текст : электронный // Фонд знаний «Ломоносов» : [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0129537:article#r2> (дата обращения: 27.02.2025).
2. 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.
3. Зуева-Носова А. В. Изучение инновационного метода применения технологий лазерного сканирования на винограднике Севастополя с применением ручного лазерного сканера GoSLAM RS100S (gsi) / Зуева-Носова А. В. // Южный урбанистический форум: наука и практика : Сборник научных трудов, Севастополь, 22–24 апреля 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 110–117.
4. Инклинометрические измерения. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «УфаСтройИзыскания» : [Электронный ресурс]. – URL: <https://usiz.ru/poleznaya-informaciya/inklinometricheskie-izmereniya/?ysclid=m7rhy1rjvo791162412> (дата обращения: 02.03.2025).
5. Методы для определения траектории и технического состояния ствола скважины. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «Когалым Нефтегеофизика» : [Электронный ресурс]. – URL: <https://kngf.org/services/metody-dlya-opredeleniya-traektorii-i-tehniceskogo-sostoyaniya-stvola-skvazhiny/> (дата обращения: 27.02.2025).
6. Нестеренко И. В. Анализ существующих мобильных лазерных сканирующих систем и перспектива их развития / Нестеренко И. В., Горина А. В., Попов Б. А. // Студент и наука. – 2018. – № 4. – С. 30–35.
7. Полостной лазерный сканер Carlson C-ALS. – Текст : электронный // Официальный сайт компании «Интер-Гео» : [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.intergeo.ru/catalog.php?cid=11&id=1789&ysclid=m7a5x2rc6f905897987> (дата обращения: 27.02.2025).

© А. А. Гребенников, 2025

В. С. Крапивин¹, А. В. Полянский¹, Л. Е. Сердаков¹✉

Монтаж и установка в проектное положение элементов бустерного синхротрона «СКИФ»

¹Институт Ядерной Физики им. Г. И. Будкера СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: LeoSerd@yandex.ru

Аннотация. В статье описывается геодезическое сопровождение этапа монтажа оптической структуры в тоннеле Бустерного синхротрона Сибирского Кольцевого Источника Фотонов (СКИФ). Приведены основные допуски на установку в проектное положение элементов ускорителя. Перед началом монтажа оборудования в тоннеле Бустера была создана геодезическая сеть, закрепленная специальными знаками для установки сферического отражателя лазерного трекера. Элементы структуры предварительно были установлены на специальные модули – гирдеры и затем перевезены на площадку ЦКП СКИФ. Перед началом монтажа была проведена разметка мест креплений опор гирдеров. Монтаж в тоннеле происходил в два этапа – предварительная и финальная установка в проектное положение. Представлены основные результаты установки в проектное положение, даны рекомендации при проведении подобных высокоточных геодезических работ при контроле монтажа технологического оборудования.

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

V. S. Krapivin¹, A. V. Polyanskiy¹, L. E. Serdakov¹✉

Assembly and alignment of the SKIF booster synchrotron

¹Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences
(BINP SB RAS), Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: LeoSerd@yandex.ru

Abstract. The article describes the geodetic support of the stage of installation of the optical structure in the tunnel of the Booster synchrotron of the Siberian Ring Photon Source (SKIF). The main tolerances for installation in the design position of the accelerator elements are given. Before the installation of the equipment in the Booster tunnel, a geodetic network was created, fixed with special signs for the installation of a spherical reflector of the laser tracker. The elements of the structure were preliminarily installed on special modules - girders and then transported to the site of the SKIF. Before the installation, the mounting locations of the girder supports were marked. Installation in the tunnel took place in two stages - preliminary and final installation in the design position. The main results of the installation in the design position are presented; recommendations are given for conducting such high-precision geodetic works when monitoring the installation of process equipment.

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

Введение

В настоящее время идет активная фаза сборочных работ ускорительного комплекса ЦКП «СКИФ». Инжекционный комплекс, включающий в себя линейный ускоритель, транспортный канал ЛИНАК-Бустер и Бустерный синхротрон

(Бустер), были собраны в период с лета 2024 по весну 2025 года. На данный момент времени в инжекционном комплексе идут работы с пучком электронов.

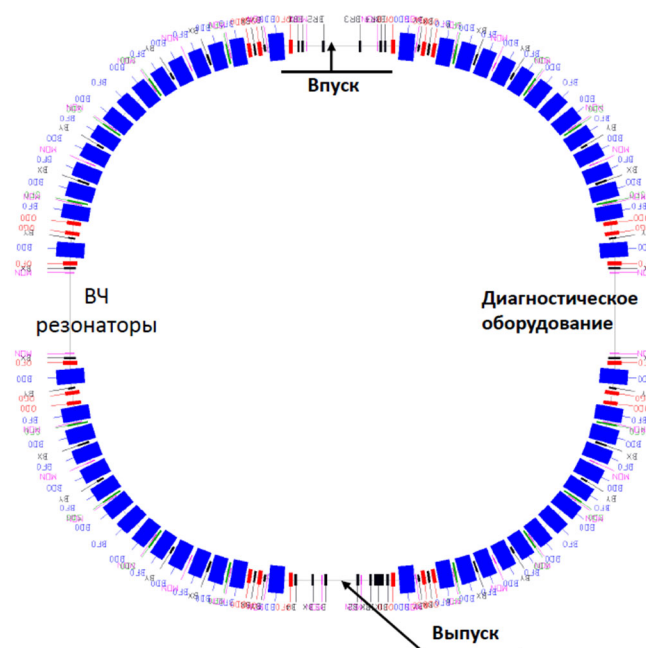


Рис. 1. Схематическая структура Бустерного синхротрона СКИФ

Значения допусков на установку элементов структуры в проектное положение получены на основании численного моделирования движения частиц. Допуски приведены в таблице 1.

Таблица 1

Допуски на установку в проектное положение элементов структуры Бустера

Контролируемое направление оси пучка	Допуск
$\Delta Z, \Delta R(Y)$	0,15 мм
ΔS	0,5 мм
dZ,dR(dY)	0,1 мрад

Для современных ускорительных комплексов ключевым моментом, определяющим прохождение пучка частиц по замкнутой орбите, является взаимная юстировка соседних магнитов, а не установка их строго в соответствии с проектом. Корректируется положение только тех элементов, отклонение которых от сглаживающей кривой выходит за рамки допусков на точность взаимной установки [2].

Согласование системы координат, используемой для расчётов и проектирования ускорительного комплекса, с прямоугольной системой координат, используемой при геодезическом контроле установки в проектное положение элементов структуры, показано на рис. 2.

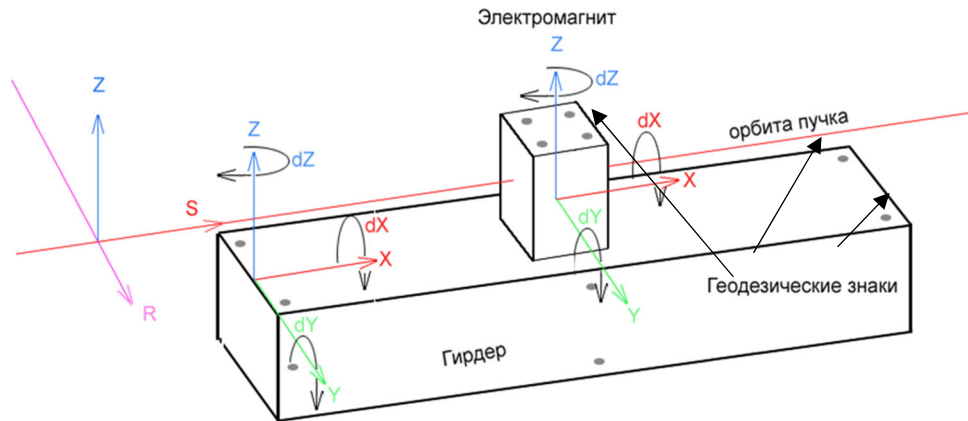


Рис. 2. Система координат Бустера и прямоугольная система координат элементов структуры

Методы и материалы

Основным прибором для контроля позиционирования элементов структуры Бустера, а также при проведении измерений положения геодезических знаков опорной сети, является лазерный трекер.

Ось, определяющаяся на этапе магнитных измерений для каждого электромагнита, фиксируется знаками под сферический отражатель трекера. Геодезические знаки элемента представляют собой отверстия для установки оснастки под отражатель, просверленные в теле электромагнита.

Всего в оптической структуре Бустерного синхротрона порядка 110 электромагнитов. Для удобства монтажа и увеличения скорости сборки на ускорительных комплексах используется модульный принцип. Модули, на которых установлены электромагниты, вакуумные камеры и вспомогательное оборудование называются гирдерами. В случае Бустерного синхротрона СКИФ используется 41 гирдер в арках и около 10 гирдеров и специальных подставок в прямолинейных промежутках. Внешний вид гирдерной сборки Бустерного синхротрона, представлен на рис. 3.

Сборка электромагнитов и остального оборудования на гирдерах производилась на территории ИЯФ СО РАН в период 2022-2023 годов. Среднеквадратическая погрешность положения элементов от проектного значения на гирдере составила 0,085 мм для поперечных направлений движения пучка.

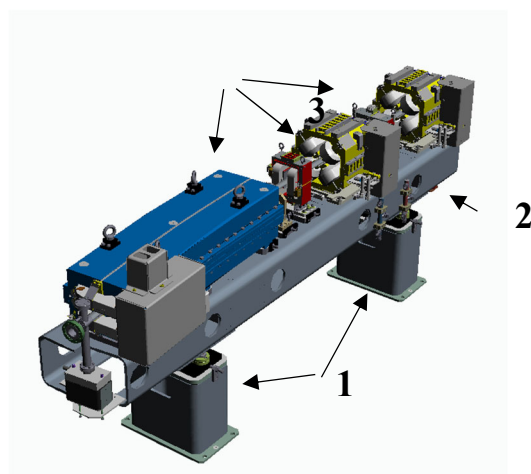


Рис. 3. Гирдерная сборка Бустерного Синхротрона СКИФ: 1 – опорные тумбы; 2 – несущая конструкция; 3 – элементы структуры ускорителя (дипольный электромагнит, корректоры, квадруполь)

Для ориентирования проектных координат в здании инъекционного комплекса, а также проведения монтажа и мониторинга положения научного оборудования, была создана опорная геодезическая сеть. Настенный геодезический знак представляет собой специальную конструкцию для однозначной постановки 1,5" отражателя лазерного трекера с постоянным магнитом и пластину для фиксации знака на бетонной стене. Схематически конструкция представлена на рис. 4.

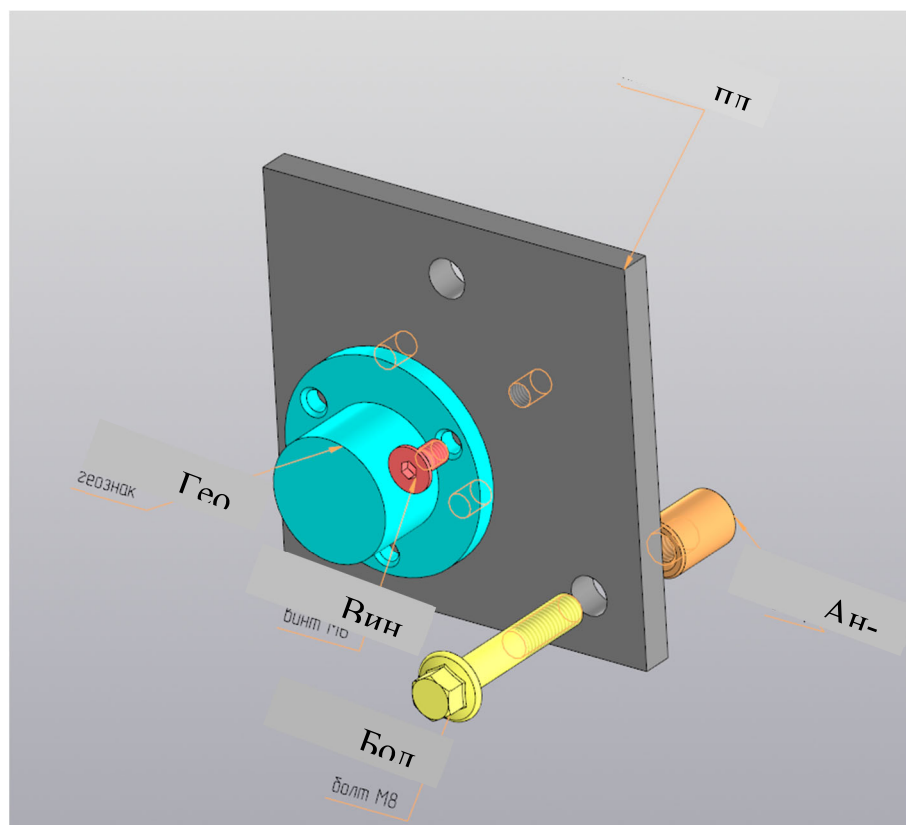


Рис. 4. Настенный геодезический знак, используемый на Бустере «СКИФ»

Всего на Бустере установлено 105 знаков на внешней и внутренних стенах тоннеля. Их расположение позволяет в любом месте установки лазерного трекера обеспечить видимость для ориентирования прибора минимум с шести знаков. Среднеквадратическая погрешность взаимного определения знаков сети в цикле измерений не превышает 0,05 мм. Периодичность измерения сети на этапе строительства ЦКП СКИФ определена 1 раз в сезон (4 раза в год) [3].

Перед началом монтажных работ, геодезическая группа ИЯФ произвела разметку под сверловку анкеров опорных тумб гирдеров и проекцию орбиты пучка на пол тоннеля. После постановки тумб они были отгоризонтированы для последующего расположения гирдерных модулей, рис. 5.



Рис. 5. Процесс установки тумб гирдерных модулей в тоннеле Бустера

Процесс предварительной установки модулей в проектное положение начинается сразу после установки тумб гирдеров. Основная задача этого этапа – стыковка вакуумных камер между гирдерами по всему периметру бустерного синхротрона.

Для исправления этого, непосредственно перед запуском ускорительного комплекса производится финальная установка в проектное положение всех элементов структуры. Этот этап является наиболее трудоемким, так как требуется обеспечить положение каждого элемента с учетом допусков. Влияние среды в помещении проведения работ при высокоточных геодезических измерениях часто является определяющим в формировании погрешностей итогового результата.

Результаты

В результате финальной юстировки гирдерных модулей в тоннеле бустера положение критически важных элементов Бустерного синхротрона определяется

в диапазоне $\pm 0,150$ мм от равновесной орбиты в поперечных направлениях (R,Z). Фрагмент графика высотных отклонений от проектного показан на рисунке 6.

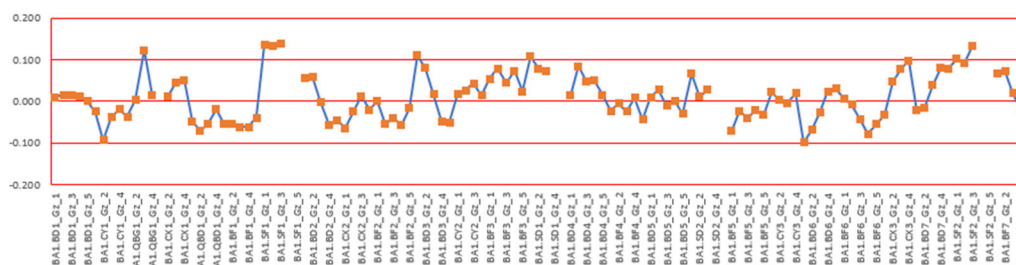


Рис. 6. Фрагмент графика отклонений фактического положения от проектного для Z направления элементов Бустера, мм

На рисунке 7 представлен график разниц от проектного положения при предварительной установке в проектное положение (синий цвет) и при финальной установке. Такая разница обусловлена тем, что в период предварительной юстировки в проектное положение, в тоннеле велись активные монтажные работы с ввозом оборудования. Это приводило к перепаду температур в 10°C , что критически влияет на позиционирование трекера относительно опорной сети.

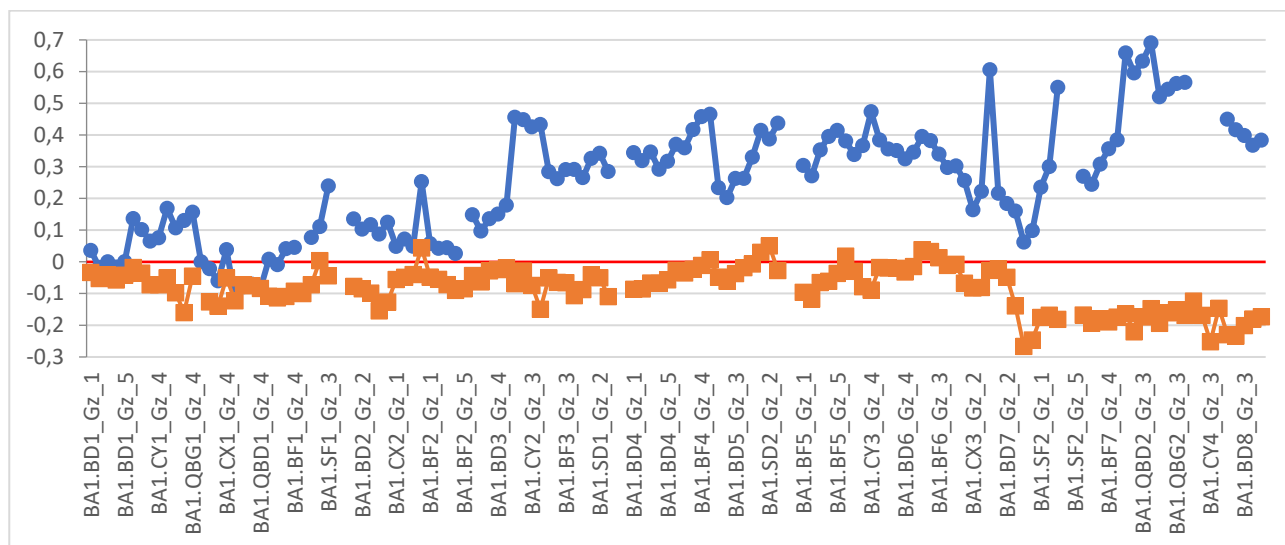


Рис. 7. Фрагмент графика отклонений фактического положения от проектного для R направления элементов Бустера при предварительной (синий цвет) и финальной (оранжевый) юстировках оборудования, мм

Обсуждение

При проведении установки в проектное положение важно помнить про влияние коллимационных ошибок на итоговый результат. Функция «Watch Windows» для контроля положения объекта в программном обеспечении Spatial Analyzer отображает текущие координаты при актуальном положении следящей головки

трекера. При смене положения головки (круг лево-круг право), результаты могут отличаться в 0,1 мм в зависимости от удаления объекта от прибора. Для однозначного определения положения объекта необходимо произвести съемку всех геодезических знаков элемента и произвести сравнение с проектными данными.

Также для повышения точности определения положения настенных геодезических знаков предлагается разработать такую схему измерений, в которой каждый знак измеряется с 4х станций трекера (четырекратное перекрытие).

Заключение

Результатами проведения геодезического контроля гирдерных модулей в тоннеле Бустерного синхротрона является итоговое значение положения критически важных элементов в диапазоне $\pm 0,150$ мм от равновесной орбиты в поперечных направлениях (R,Z).

В мае 2025 в Бустерном Синхротроне был произведен пробный запуск пучка электронов, закончившийся прохождением по всему периметру установки.

Благодарности

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технологическая инфраструктура сибирского кольцевого источника фотонов «СКИФ». Акимов А.В., Анашин В.В., Анчугов О.В., Арсентьева М.В., Бак П.А., Батраков А.М., Борин В.М., Буренков Д.Б., Винник Д.С., Волков В.Н., Вонда Е.С., Сердаков Л.Е. и др. // Сборник статей. В 3-х томах. Под общей редакцией К.И. Шефер, Составитель Е.Б. Левичев. Новосибирск, 2022.
2. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга Ускорительно-накопительных комплексов / Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Буренков Д.Б., Сердаков Л.Е. // Монография. Новосибирск, 2021.
3. Николаев, С. А. Определение периода стабилизации осадок инженерных сооружений по данным геодезических наблюдений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1978. – № 4. – С. 41–45.

© В. С. Крапивин, А. В. Полянский, Л. Е. Сердаков, 2025

Е. В. Минченко¹✉, Н. М. Рябова¹

Особенности инженерно-геодезических работ в условиях Крайнего Севера

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

Аннотация. Статья посвящена анализу особенностей проведения геодезических изысканий при строительстве и реконструкции инженерных коммуникаций в экстремальных условиях Крайнего Севера. Рассмотрены ключевые проблемы, связанные с вечной мерзлотой, экстремально низкими температурами, сезонными ограничениями и логистической сложностью работ. Представлены технические решения, включая применение термостойкого оборудования, автоматизированных методов мониторинга и специализированных методик измерений. Особое внимание уделено вопросу безопасности персонала при выполнении геодезических работ. Приведены практические рекомендации по организации изысканий с учетом климатических условий. Результаты исследования представляют ценность для специалистов в области инженерных изысканий, проектирования и строительства инженерных сооружений в северных регионах. Материалы статьи могут быть использованы для актуализации нормативной базы и совершенствования методик проведения геодезических работ в условиях вечной мерзлоты.

Ключевые слова: геодезические изыскания, районы Крайнего Севера, вечная мерзлота, экстремальные температуры, безопасность выполнения работ, инженерные коммуникации, автоматизированный мониторинг, термостойкое оборудование, нормативные требования

E. V. Minchenko¹✉, N. M. Ryabova¹

The features of engineering and geodetic works in the conditionsof the Far North.

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

Abstract. The article is devoted to the analysis of the features of geodetic surveys during the construction and reconstruction of utilities in the extreme conditions of the Far North. The key issues related to the occurrence of permafrost, extremely low temperatures, seasonal restrictions and logistical complexity of the work are considered. Technical solutions are presented, including the use of heat-resistant equipment, automated monitoring methods and specialized measurement techniques. In the performance of geodetic work, special attention is paid to the issue of personnel safety. Particular attention is paid to the issue of personnel safety when performing geodetic work. The findings of the study are of value to specialists in the field of engineering surveys, design and construction of engineering structures in the northern regions. The materials of the article are also a useful basis for updating the regulatory framework and improving the methods of geodetic work in permafrost conditions.

Keywords: Geodetic surveys, Far North Areas, permafrost, extreme temperatures, safety of work, engineering communications, automated monitoring, heat-resistant equipment, regulatory requirements

Введение

Строительство и реконструкция инженерных коммуникаций в условиях Крайнего Севера связаны с рядом сложностей, обусловленных экстремальными климатическими условиями, сложными грунтами и труднодоступностью территорий. Геодезические изыскания в таких условиях играют важную роль в обеспечении необходимой точности проектирования, долговечности сооружений и минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций.

Актуальность темы обусловлена активным освоением арктической зоны и северных регионов России, где ведется строительство магистральных трубопроводов, линий электропередач, автомобильных и железных дорог, а также объектов инфраструктуры [1]. Однако вечная мерзлота, сезонные колебания температур, криогенные процессы и другие природные факторы требуют особых подходов к проведению геодезических работ.

Цель данной статьи – рассмотреть особенности выполнения геодезических изысканий при строительстве и реконструкции инженерных коммуникаций в условиях Крайнего Севера. Задачей исследования является оценка влияния природных факторов на точность производства инженерно-геодезических измерений.

Методы и материалы

Выполнение геодезических изысканий в арктических регионах сопряжено с рядом трудностей, обусловленных экстремальными природными условиями и техническими ограничениями. На рис. 1 и 2 наглядно показаны факторы, воздействующие на процесс выполнения инженерно-геодезических изысканий в зависимости от сезона.

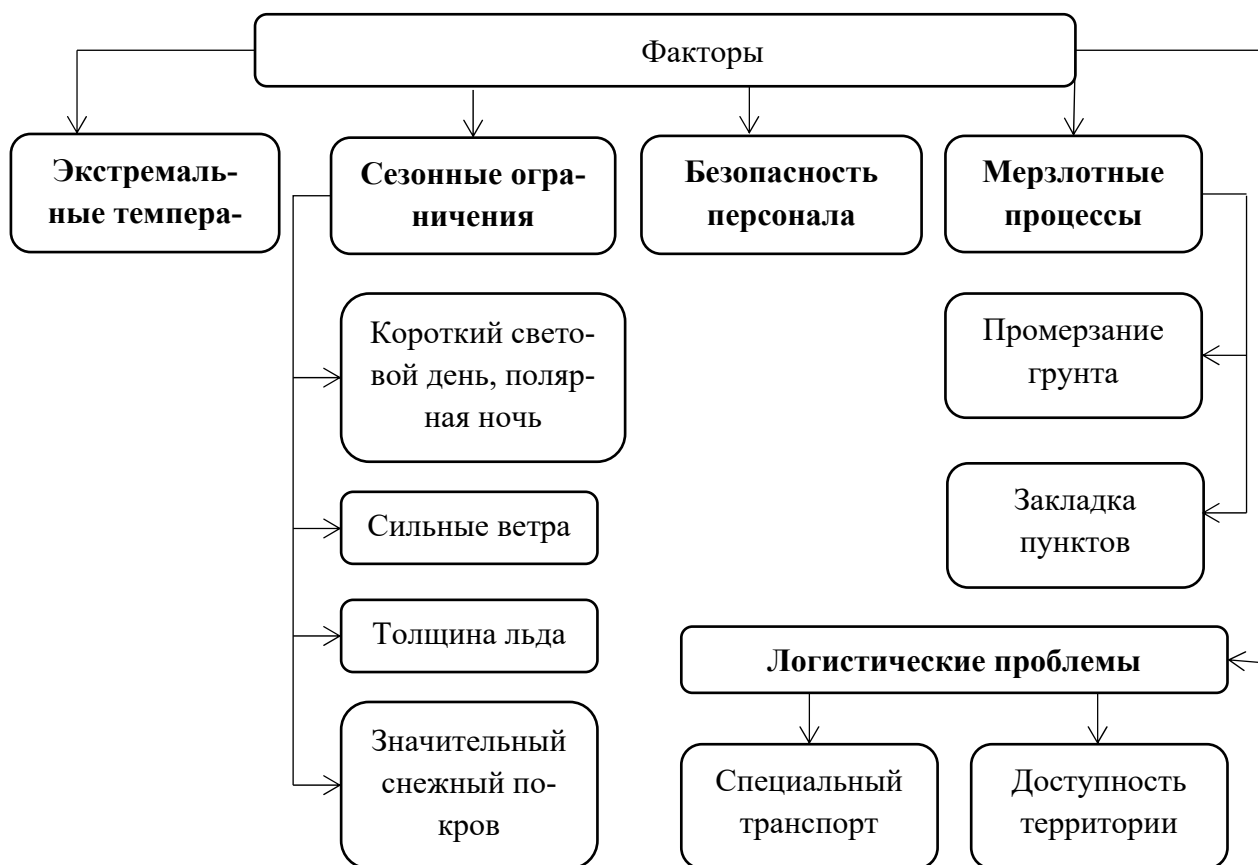


Рис. 1. Факторы, влияющие на инженерно-геодезические изыскания в зимний период

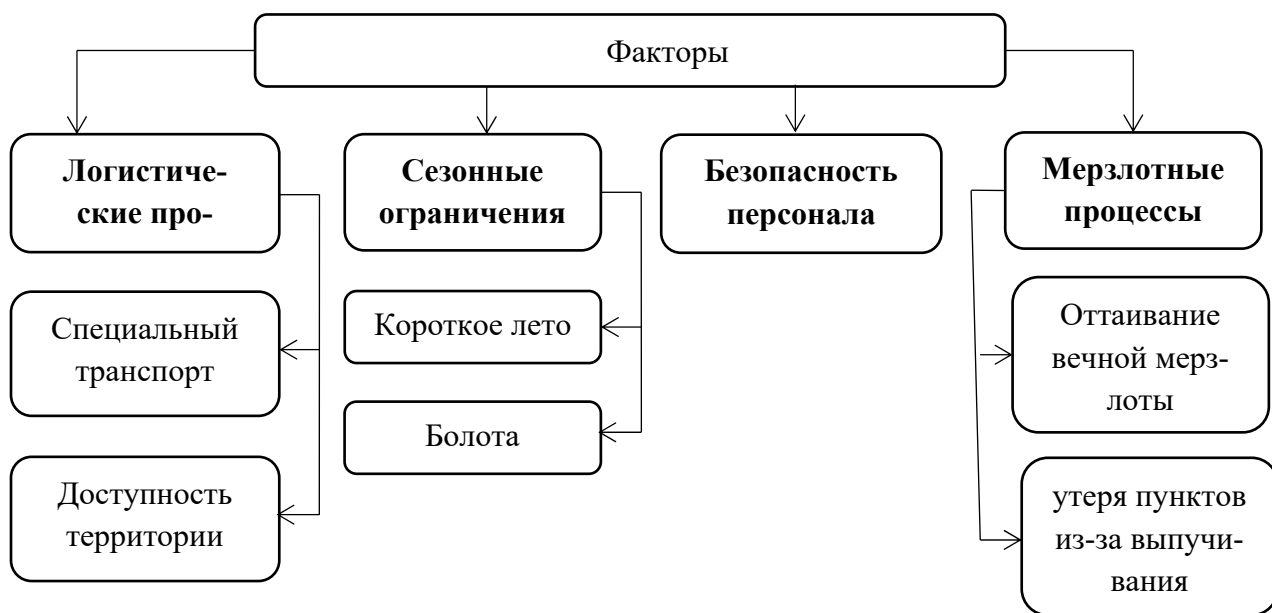


Рис. 2. Факторы, влияющие на инженерно-геодезические изыскания в летний период

Рассмотрим подробнее описанные выше факторы и пути их решения.

Влияние экстремально низких температур.

Выполнение геодезических изысканий в условиях экстремально низких температур (до минус 50°C и ниже) представляет собой значительную техническую и методологическую проблему. Рассмотрим основные аспекты воздействия низких температур:

1. Влияние на электронное оборудование:

- снижение производительности процессоров и дисплеев;
- увеличение ошибок измерений из-за изменения физических свойств материалов;
- риск механических повреждений хрупких деталей;
- уменьшение времени автономной работы аккумуляторов на 40-60%;

2. Проблемы с оптическими системами:

- образование инея на линзах и призмах геодезических приборов;
- изменение коэффициента преломления оптических элементов;
- запотевание внутренних поверхностей при резких перепадах температур;

3. Эксплуатационные сложности:

- ограничение подвижности оператора в утепленной одежде;
- снижение тактильной чувствительности при работе с приборами;
- увеличение времени настройки оборудования.

В таких условиях выполнения инженерно-геодезических работ необходима реализация следующих технических решений:

- применение специализированного оборудования (приборов с термостатированными корпусами и ЖК-дисплеев с подогревом и антиобледенительным покрытием);
- применение энергосберегающего оборудования (литий-тионилхлоридных аккумуляторов с рабочей температурой до минус 55°C, термочехлов с автономным подогревом, резервных батарей в теплых карманах спецодежды, а также внешних источников питания от автомобилей).

Также успешному выполнению работ способствуют следующие мероприятия:

- циклический режим выполнения работы (15-20 минут измерений и 10 минут прогрева);
- использование эталонных базовых линий для оперативного контроля точности измерений;
- увеличение количества контрольных измерений.

Данные меры позволяют сохранять точность линейных измерений в пределах 1-2 мм/км даже при экстремально низких температурах, что соответствует требованиям нормативных документов [2, 3, 4] для ответственных сооружений.

Сезонные ограничения. Геодезические работы в условиях Крайнего Севера подвержены значительному влиянию резко выраженной сезонности и экстремальных погодных явлений. Эти факторы требуют особых подходов к организации и проведению изыскательских работ.

Основными сезонными проблемами являются следующие факторы.

1. Зимний период (октябрь – апрель) выполнения работ:
 - полярная ночь (от 20 до 90 суток в зависимости от широты);
 - среднесуточные температуры от минус 30°C до минус 45°C;
 - частые метели и снежные заносы (видимость менее 10 м);
 - обледенение оборудования и реперов;
2. Летний период (июнь – август) выполнения работ:
 - активное таяние вечной мерзлоты;
 - заболоченность до 80% территории;
 - рои кровососущих насекомых;
 - пожароопасность в тундровой зоне;
3. Выполнение работ в межсезонье (май, сентябрь):
 - крайняя нестабильность погодных условий;
 - чередование оттепелей и заморозков;
 - размыв временных транспортных путей.

Для успешного выполнения работ в таких условиях применяются следующие организационные решения.

1. Организация работ в зимний период (применение автономных источников освещения и разбивка рабочего дня на короткие циклы (1,5–2 часа).
2. Методические приемы (использование снегозащитных экранов, закрепление реперов в мерзлых грунтах и в талых грунтах).
3. Транспортные решения (применение снегоходов и вездеходов).
4. Защитные меры (использование противомоскитных костюмов и сеток, репеллентов и герметичных кейсов для оборудования).

Данные решения позволяют сократить сроки проведения изысканий на 15–20% при обеспечении требуемой точности измерений в соответствии с нормативными документами [5].

Обеспечение безопасности персонала. Проведение геодезических работ в экстремальных арктических условиях требует особых мер по защите здоровья и жизни персонала. Рассмотрим основные факторы, влияющие на безопасность персонала [6]. К ним относятся:

1. Климатические факторы (переохлаждение при температуре ниже минус 40°C, возможные обморожения открытых участков тела за 10–15 минут, полярная слепота от отраженного снегом УФ-излучения).
2. Физические опасности (возможные падения в ледяные трещины и провалы в карстовые полости, травмы от падающих сосулек и наледей потеря ориентации во время пурги).

В указанных условиях выполнения инженерно-геодезических измерений необходимо применять следующую систему защитных мер:

1. Индивидуальная экипировка (применение трехслойных костюмов и специальной обуви с теплоизоляцией, обеспечивающих сохранность тепла до -60°C, очков с УФ-фильтром и антизапотевающим покрытием).
2. Соблюдение определенных правил передвижения во время выполнения работ (минимальный состав группы – 3 человека и дистанция визуального контакта не более 50 м).

3. При возникновении пурги необходимы немедленное прекращение работ и перемещение в укрытие.

4. При случайных контактах с хищниками необходимо применение сигнальных пистолетов и ультразвуковых отпугивателей.

Данные меры соответствуют требованиям нормативных документов [7, 8].

Влияние мерзлотных процессов и деформаций грунтов на точность геодезических измерений.

Проведение инженерно-геодезических изысканий в условиях вечной мерзлоты также требует особого подхода к учету криогенных процессов, которые могут существенно влиять на точность измерений и стабильность геодезических знаков [9].

Основными мерзлотными явлениями, влияющими на инженерно-геодезические работы, являются:

1. Сезонные колебания мерзлоты (пучение грунтов, неравномерное проседание при таянии и проседание коммуникаций).

2. Криогенные деформации, к которым относятся наледообразование и наличие бугров пучения.

3. Динамические процессы: к которым относятся солифлюкция (медленное течение грунта) и криогенное растрескивание.

Для обеспечения учета возникающих ошибок при таких условиях выполнения измерений необходимо особое внимание уделять учету температурных деформаций, введению поправочных коэффициентов и обязательно производить закладку глубинных реперов ниже глубины промерзания [10, 11].

Логистические сложности. Организация геодезических изысканий в арктическом регионе характеризуется существенными транспортно-логистическими ограничениями, обуславливающими необходимость разработки специализированных подходов к планированию и осуществлению изыскательских работ [12].

Основными логистическими проблемами являются:

1. Отсутствие развитой транспортной инфраструктуры (отсутствие дорожной сети в 87% арктических районов, ограниченная навигация по северным рекам и высокая стоимость авиаперевозок).

2. Снабжение и обеспечение (отсутствие стационарных баз снабжения и сезонные ограничения завоза грузов).

3. Эксплуатационные сложности (крайне низкая ремонтпригодность, техники в полевых условиях, ограниченные сроки работоспособности оборудования и дефицит квалифицированного персонала в регионе).

Эффективная логистическая организация работ позволяет сократить сроки проведения изысканий на 20-30% при гарантированном качестве работ.

Результаты

Проведенное исследование выявило комплекс технологических, методических и организационных решений, позволяющих обеспечить требуемую точность и безопасность проведения инженерно-геодезических работ в экстремальных арктических условиях.

Основные результаты, структурированные по ключевым направлениям, приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Основные результаты

Факторы	Трудности	Пути решения
Экстремальные температуры	Отказ оборудования при -40°C и ниже	Использование термостойких приборов с подогревом
	Быстрый разряд аккумуляторов	Применение внешних источников питания и термокейсов
Сезонные ограничения	Полярная ночь (декабрь-январь)	Применение искусственного освещения
	Летняя заболоченность территорий	Перенос основных работ на зимний период
Мерзлотные процессы	Деформация реперов из-за пучения грунтов	Закладка знаков ниже слоя сезонного промерзания
	Проседание коммуникаций	Регулярный мониторинг
Логистические проблемы	Отсутствие дорожной инфраструктуры	Привлечение вездеходов и снегоходов
Безопасность персонала	Риски переохлаждения	Спецкостюмы, ограничение времени непрерывной работы на морозе
	Риски, связанные с укусами насекомых в летний период	Обязательное оснащение групп спутниковой связью и трекерами

Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что инженерно-геодезические изыскания в условиях Крайнего Севера требуют принципиально иного подхода по сравнению с традиционными методами, применяемыми в умеренных широтах. Полученные результаты существенно расширяют методическую базу для проведения геодезических работ в условиях Крайнего Севера. Реализация предложенных решений позволит:

- обеспечить требуемую точность строительства ответственных объектов;
- гарантировать безопасность персонала;
- оптимизировать сроки и стоимость изыскательских работ.

Исследование имеет важное прикладное значение для освоения арктических территорий и может служить основой для разработки новых отраслевых стандартов в области полярной геодезии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 13.07.2020 N 193-ФЗ (ред. от 22.07.2024). О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации: (с изменениями и дополнениями, вступил в силу с 19.01.2025) [принят Государственной Думой 7 июля 2020 года: одобрен Советом Федерации 8 июля 2020 года]. – Текст: электронный.

2. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Дата введения 2017-07-01 – Москва: Стандартинформ, 2017.
3. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. Дата введения 2018-04-25 – Москва: Стандартинформ, 2018.
4. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Дата введения 1998-01-01 – Москва: ПНИИИС Госстроя России, 2001.
5. ГОСТ Р 51872-2019. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 марта 2019 г. N 93-ст: введен взамен ГОСТ Р 51872-2002: дата введения 01.09.2019 / разработан ООО "ТЕКТОПЛАНф", Мосгосстройнадзор, ГБУ "Мосгоргеотрест", МИИ-ГАиКООО "Фирма "ЮСТАС", ООО НПП "Строительство". – Москва: Стандартинформ – 2019. – 38 с. – Текст непосредственный.
6. Кривых, А. Н. Развитие общей выносливости геодезиста в условиях крайнего севера / А. Н. Кривых, М. А. Радькова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – Т. 5. – С. 117-120. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-5-117-120.
7. ТР ТС 019/2011 "О безопасности средств индивидуальной защиты". (с изменениями и дополнениями, вступил в силу с 28.05.2019) Дата введения 2011-07-01 [утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 878] – Текст: электронный.
8. ГОСТ Р 12.4.236-2011. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.05.2011 г. № 100-ст : введен взамен ГОСТ Р 12.4.236–2007 : дата введения 01.12.2011 / разработан ОАО «ЦНИИШП» при участии НИИМТ РАМН. – Москва: Стандартинформ – 2012. – 31 с. – Текст непосредственный.
9. Мурзинцев, П. П. Особенности геопро пространственного мониторинга бугров пучения многолетнемерзлых пород на этапе инженерных изысканий / П. П. Мурзинцев, И. О. Биндер, А. С. Репин. – Текст: непосредственный // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 9. – С. 2–7. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-999-9-2-7.
10. Васильчук, Ю. К. Особенности инженерных изысканий для строительства трубопроводов в пределах бугристых ландшафтов зоны спорадического распространения многолетнемерзлых пород / Ю. К. Васильчук, А. К. Васильчук. – Текст: непосредственный // Инженерные изыскания. – 2014. – № 9–10. – С. 4–12.
11. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16.05.2023 N 344/ПР «Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства»: введен взамен РД 11-02-2006. – Текст: электронный.
12. Мустафин, М. Г. Топографо-геодезическое и картографическое обеспечение Арктической зоны Российской Федерации / М. Г. Мустафин, В. Н. Баландин, М. Я. Брынь [и др.]. – Текст: непосредственный // Записки Горного института. – 2018. – Т. 232. – С. 375–382. – DOI 10.31897/PMI.2018.4.375.

© Е. В. Минченко, Н. М. Рябова, 2025

Е. В. Минченко¹✉, М. В. Мурзинцева¹, К. С. Батырова¹

Применение технологии дополненной реальности для визуализации инженерных коммуникаций

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

Аннотация. В статье исследуются возможности применения технологии дополненной реальности для визуализации трехмерной модели инженерных коммуникаций на основе топографического плана масштаба 1:500 при реконструкции подземных сооружений. Рассматривается использование мобильного приложения, позволяющего пользователям взаимодействовать с 3D-моделью подземных коммуникаций. Представлена методика создания 3D-моделей подземных коммуникаций на основе растрового топографического плана в программном продукте nanoCAD, их интеграция в платформу разработки и использование мобильного приложения для интерактивного отображения подземных инженерных сетей на экране мобильного устройства при наведении на топографический план в аналоговом (бумажном) виде. Результаты исследования демонстрируют, что применение дополненной реальности позволяет эффективно визуализировать подземные коммуникации, снижая риски их повреждения при проведении строительных и ремонтных работ.

Ключевые слова: дополненная реальность, трехмерная модель, мобильное приложение, топографический план, реконструкция, подземные коммуникации

E. V. Minchenko¹✉, M. V. Murzintseva¹, K. S. Batyrova¹

Application of augmented reality technology for visualization of engineering communications

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

Abstract. The article explores the possibilities of using augmented reality (AR) technology for visualization of a 3D model of engineering utilities based on a topographic plan at a scale of 1:500 when reconstructing underground structures. The use of mobile application allowing users to interact with 3D-model of underground utilities is considered. The methodology of creating 3D-models of underground utilities based on raster topographic plan in nanoCAD software product, their integration into AR-environment and the use of mobile application for interactive display of underground utilities on the screen of mobile device when pointing at the topographic plan in paper format is presented. The results of the study demonstrate that the application of DR allows to effectively visualize underground utilities, reducing the risks of their damage during construction and repair works.

Keywords: augmented reality, three-dimensional model, mobile application, topographic plan, reconstruction, underground communications

Введение

Реконструкция подземных коммуникаций представляет собой сложный и ответственный процесс, требующий качественно подготовленной проектной до-

кументации. Важной задачей при реконструкции подземных коммуникаций является определение их пространственного положения, глубины заложения и выявление возможных пересечений с другими инженерными сетями, что обеспечивает безопасность проведения работ и минимизацию риска повреждения существующих инженерных сетей [1]. Для успешного решения данной задачи необходимо с достаточной точностью знать пространственное положение коммуникаций, попадающих в зону проведения земляных работ. Данная информация может быть получена на основе анализа топографических планов и схем, которые служат основой для принятия решений при реконструкции подземной инфраструктуры [2].

В настоящее время технология дополненной реальности (ДР) активно внедряется в различные сферы, включая строительство и инженерные изыскания для реализации инфраструктурных проектов [3, 4]. ДР представляет собой инновационную технологию, позволяющую интегрировать цифровые данные, включая изображения и видеофайлы в реальную физическую среду в режиме реального времени. Современные технологии ДР позволяют упростить процесс анализа данных, наглядно оценить положение коммуникаций, что делает их важным инструментом при реконструкции сложных инженерных сетей.

В данном исследовании рассматривается возможность применения ДР для визуализации 3D-моделей инженерных коммуникаций на основе топографического плана масштаба 1:500 при реконструкции подземного трубопровода тепловых сетей.

Цель данного исследования заключается в создании и апробации методики создания и использования технологии дополненной реальности для визуализации подземных коммуникаций тепловых сетей.

Методы и материалы

В источнике [5] предложена методика создания и использования аналого-цифрового картографического комплекса с элементами дополненной реальности, на основе которой разрабатывалось мобильное приложение дополненной реальности для топографической карты 1:500.

Технологическая схема создания аналого-цифрового картографического комплекса с элементами дополненной реальности с применением топографической карты приведена на рис. 1.

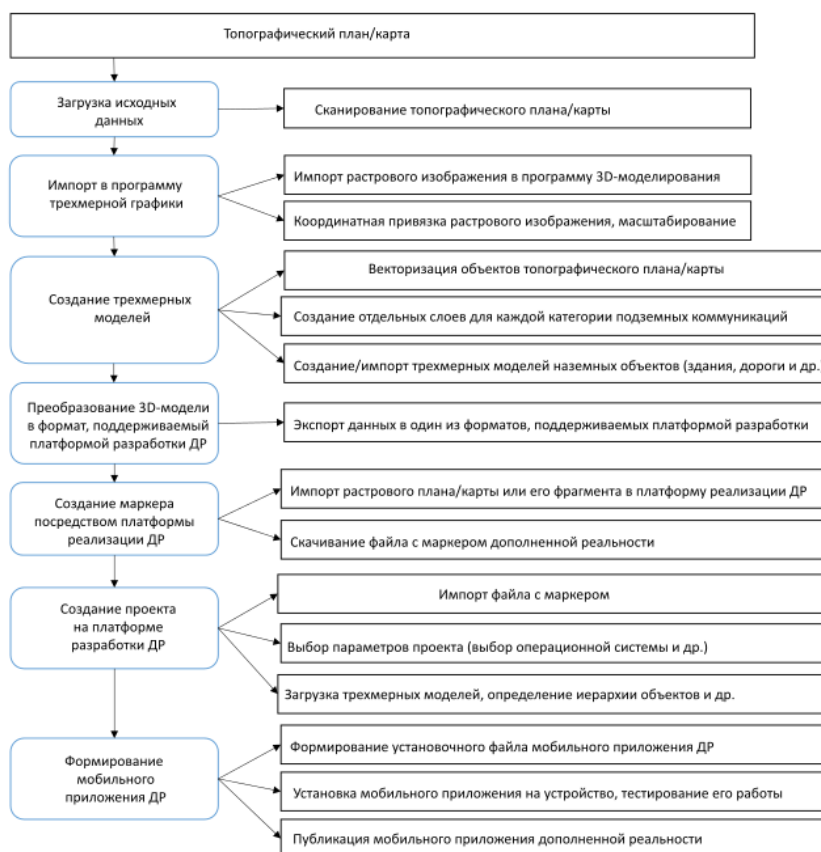


Рис. 1. Схема преобразования топографического плана в 3D модель

На первом этапе производится сканирование и загрузка растрового топографического плана в программный продукт САПР. На основе плана создается трехмерная модель подземных коммуникаций с учетом параметров, таких как глубина заложения, диаметр труб, тип коммуникаций, а также их взаимное расположение. Точность моделирования обеспечивается за счет использования актуальных геодезических данных и соблюдения нормативных требований.

После создания 3D-модель экспортируется в формат, совместимый с мобильным приложением ДР. Для интеграции модели в виртуальную среду использовались современные платформы реализации технологии ДР – программа Vuforia, а также разработки Unity Engine. На данном этапе выполняются следующие операции:

- создание проекта выполнения работ;
- выбор операционной системы мобильного устройства;
- импорт маркера и настройка параметров отображения модели, включая масштабирование;
- ориентация 3D сцены для различных типов коммуникаций.

Разработанное мобильное приложение ДР позволяет пользователю наводить камеру устройства на бумажный топографический план. С помощью алгоритмов распознавания маркера приложение идентифицирует план и накладывает

на него 3D-модель подземных коммуникаций (рис. 2). На экране устройства отображается трехмерная модель коммуникаций, просматриваемая с разных ракурсов, что обеспечивает интерактивное взаимодействие с моделью и повышает наглядность представления данных.

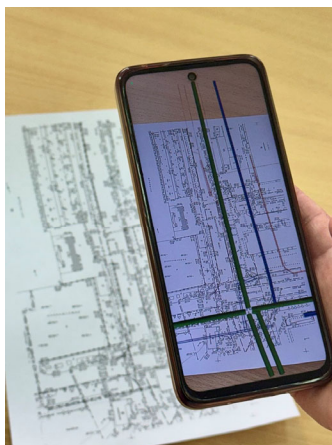


Рис. 2. Визуализация подземных коммуникаций в дополненной реальности

Обсуждение

По результатам исследований установлено, что применение технологии ДР для визуализации подземных коммуникаций на топографическом плане обеспечивает интерактивность, реалистичность, а также возможность просмотра объектов в нескольких ракурсах. Это значительно повышает наглядность и эффективность работы с топографическими данными.

Основными преимуществами, позволяющими технологии ДР быть полезной и востребованной для целей проведения инженерно-геодезических изысканий, являются:

- повышение точности данных семантической информации;
- интерактивность, улучшение наглядности и восприятия информации;
- снижение рисков при проведении земляных работ;
- доступность для широкого круга специалистов;
- повышение эффективности принятия решений;
- уменьшение зависимости от обновления бумажной документации.

Применение технологии ДР для визуализации подземных коммуникаций при наведении камеры мобильного устройства на карту и отображение их 3D-моделей является эффективным инструментом для широкого круга специалистов, включая строительные бригады, эксплуатационные и коммунальные службы, управляющие компании, аварийные службы, а также инженерные службы и проектирующие организации.

Заключение

Одним из преимуществ использования технологий ДР в геодезии является повышение точности и безопасности выполнения работ. Традиционные методы,

основанные на использовании двухмерных чертежей и планов, зачастую затрудняют интерпретацию данных, например, семантическую информацию и могут приводить к некоторым ошибкам (неточностям) при планировании, проектировании и реконструкции подземных коммуникаций. Внедрение технологий ДР способствует повышению информативности и наглядности топографических планов за счет их трехмерной визуализации, что обеспечивает минимизацию риска повреждений подземных коммуникаций при проведении земляных работах.

Технология ДР представляют собой перспективное направление для получения визуализации инженерных коммуникаций при реконструкции подземных сооружений. Разработанное мобильное приложение продемонстрировало свою эффективность и удобство использования на практике. Дальнейшее развитие данной технологии позволит улучшить точность и надежность работы приложений, а также расширить область их применения [6].

Рекомендации для дальнейших исследований заключаются в синтезе искусственного интеллекта (ИИ) с дополненной реальностью, отображающей физическую среду. В этом случае технические специалисты обслуживающих организаций, например, теплосетей, горводоканала и т.д. будут получать инструкции по выполнению задач и проверок состояния коммуникаций таким же образом, как при реальном общении со специалистами других отделов. Функционал разрабатываемой в будущем платформы должен включать интеграцию модулей приложения и программных модулей для обмена информацией с инженерным отделом эксплуатирующей организации с целью планирования технического обслуживания и ремонта, а также создание хранилища произведенных работ для постоянного переобучения и оптимизации ИИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. От 25.12.2023). - Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/. - (дата обращения: 18.01.2024). - Режим доступа: общий доступ.
2. Ознамец, В. В. Разработка теоретических и технологических основ комплексного геодезического обеспечения устойчивого развития территорий: специальность 25.00.32 "Геодезия": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / В. В. Ознамец. - Москва, 2021. - 292 с.
3. Yu L., Ong S. K., Nee, Andrew. A tracking solution for mobile augmented reality based on sensor-aided marker-less tracking and panoramic mapping // Multimedia Tools and Applications. - 2015. - V. 75. - P. 3199-3220.
4. Язгельдиев Ш., Керимов А., Агаев А. Виртуальная и дополненная реальность в строительстве: новые возможности для проектирования и обучения // Вестник науки №10 (79) том 4. С. 950 - 953. 2024 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: <https://www.vestnik-nauki.rf/article/18188> (дата обращения: 18.02.2025 г.)
5. Батырова, К. С. Методика расширения содержания и функционала аналоговых карт с применением технологии дополненной реальности / К. С. Батырова. – Текст : непосредственный. // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30. – № 1. – С. 98–105. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-99-107.
6. Батырова, К. С. История дополненной реальности и перспективы ее применения в картографии / К. С. Батырова, Я. Г. Пошивайло // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). - 2021. - Т. 26, № 5. - С. 99-107. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-99-107

© Е. В. Минченко, М. В. Мурзинцева, К. С. Батырова, 2025

М. В. Мурзинцева¹✉

Методика построения продольного профиля подземных коммуникаций при выполнении инженерных изысканий

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

Аннотация. Подземные коммуникации являются ключевым элементом городской инфраструктуры, обеспечивающими передачу ресурсов потребителю. Продольный профиль подземной коммуникации содержит основные геометрические параметры, необходимые для проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции. Он является обязательной частью отчетной, проектной и исполнительной документации, регламентируемой нормативными актами. Правильное построение продольного профиля обеспечивает надежность, эффективность и безопасность функционирования подземных коммуникаций на всех этапах их жизненного цикла. Применение продольных профилей на этапах проектирования, строительства и реконструкции подземных коммуникаций позволяет решать задачи определения оптимальной трассы, контроля уклонов, глубины залегания и оценки состояния объектов. Это способствует соблюдению нормативных требований, повышению точности монтажа и предотвращению аварийных ситуаций. В статье рассмотрен современный подход построения продольных профилей с использованием программного продукта nanoCAD GeoniCS, а также традиционный способ интерполяции.

Ключевые слова: продольный профиль, линейные сооружения, подземные коммуникации, программный комплекс, интерполяция

M. V. Murzintseva¹✉

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

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

Annotation. Underground utilities are a key element of urban infrastructure, providing the transfer of resources to the consumer. The longitudinal profile of underground communications contains the main geometric parameters required for design, construction, operation and reconstruction. It is a mandatory part of reporting, design and executive documentation regulated by regulatory acts. Proper construction of longitudinal profile ensures reliability, efficiency and safety of underground utilities operation at all stages of their life cycle. Application of longitudinal profiles at the stages of design, construction and reconstruction of underground utilities allows solving the tasks of determining the optimal route, controlling slopes, depth of occurrence and assessing the condition of objects. This contributes to compliance with regulatory requirements, improvement of installation accuracy and prevention of emergency situations. The article considers the modern approach of longitudinal profiles construction using the nanoCAD GeoniCS software product, as well as the traditional method of interpolation.

Keywords: Longitudinal profile, linear structures, underground communications, program complex, interpolation

Введение

Подземные коммуникации являются важной составляющей городской инфраструктуры, обеспечивающие передачу различных ресурсов потребителю. Ос-

Основные характеристики подземной коммуникации содержатся в построенном по геодезическим данным продольном профиле. Продольные профили подземных коммуникаций являются неотъемлемой частью отчета инженерных изысканий [1], проектной и рабочей документации [2], исполнительной документации по объекту строительства [3]. Правильное построение продольного профиля подземных коммуникаций играет ключевую роль для обеспечения качественного проектирования и строительства, а в последующем их надежной и безопасной эксплуатации, включая реконструкцию, ремонты.

Продольный профиль трассы представляет собой условное изображение вертикального разреза местности, выполненное в плоскости, проходящей через ось проектируемой линии [4].

Разработка профилей выполняется для целей проектирования, а также для строительства новых подземных коммуникаций, эксплуатации, реконструкции и капитального ремонта существующих подземных коммуникационных систем.

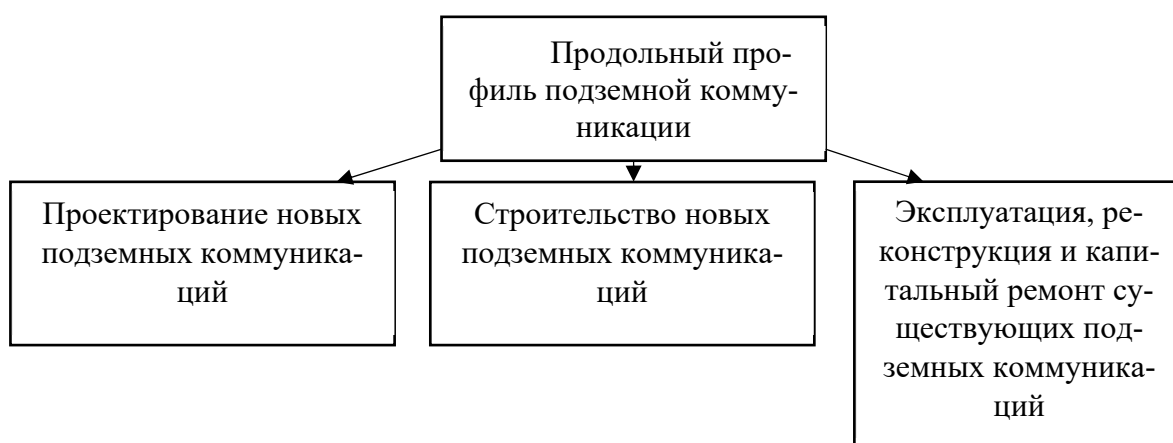


Рис. 1. Блок-схема применения продольных профилей на этапах проектирования, строительства и реконструкции

При проектировании новых подземных коммуникаций [5] построение продольных профилей решает задачи определения оптимального положения трассы, ее уклонов и глубины залегания. Эти параметры имеют важное значение для соблюдения нормативных требований, СП и технических регламентов. Продольный профиль позволяет выполнять расчет уклонов, который является важным для эффективного функционирования самотечных систем.

В процессе строительства новых подземных коммуникаций построения продольных профилей направлены на выполнение проектных условий и нормативных стандартов. Продольные профили служат основой для проведения разбивочных работ. Они позволяют осуществлять контроль за точностью монтажа трубопроводов, камер и колодцев, а также снижают вероятность отклонений от установленных проектных показателей.

При эксплуатации, реконструкции и капитальном ремонте существующих подземных коммуникаций построение продольных профилей играет важную роль в оценке текущего состояния объектов и планировании восстановительных работ. Продольные профили позволяют точно определить изменения глубины залегания, выявить просадки трубопровода и сооружений, отклонения от проектных уклонов, а также участки с деформациями или повреждениями. На основе этих данных разрабатываются решения по усилению конструкций и предотвращению аварийных ситуаций.

Для решения данных задач используют разные методы построения профилей для линейных объектов. В зависимости от квалификации сотрудников, специализированных знаний и навыков, используемого софта организацией применяются разные методы построения профилей [6].

Методика построения профилей

Продольный профиль коммуникации строится на основе данных топографического плана. В рамках данного исследования продольный профиль разрабатывается для проектирования и строительства водопроводной сети, представленной на рисунке 2.

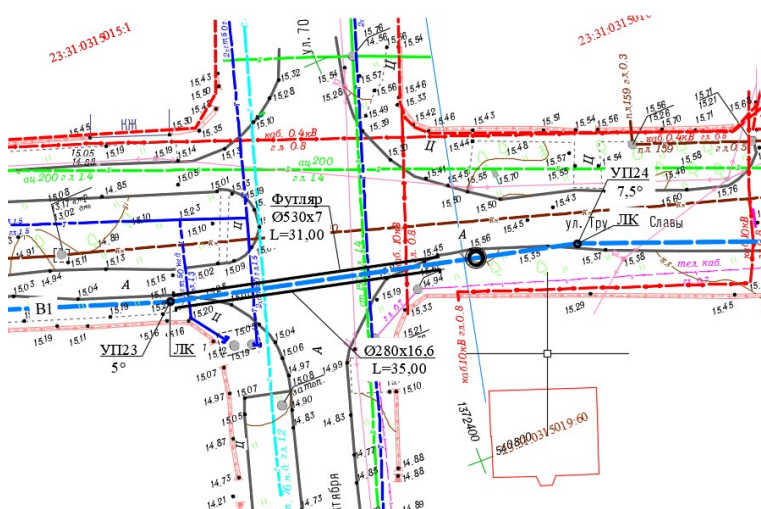


Рис. 2. Топографический план

При построении продольного профиля вертикальный масштаб принимается в 10 раз крупнее горизонтального [7].

На продольный профиль линейного сооружения наносятся:

- инженерно-геологический разрез земной поверхности по направлению проектируемой трассы;
- номера пикетов и углы поворота вдоль всей трассы;
- примыкания и пересечения с существующими инженерными коммуникациями и сооружениями, а также с водными объектами.

К настоящему времени разработано и применяется несколько методов построения профилей.

Первый метод построения продольных профилей подземных коммуникаций выполняется способом интерполяции. Преимущество данного способа заключается в высокой точности построенного профиля и его соответствия фактическому рельефу местности, возможности построения по существующим архивным растровым изображениям местности (графический формат или отсканированные бумажные материалы) [8]. При его реализации на сети подземной коммуникации определяются точки начала и конца трассы, характерные пересечения с существующими инженерными сооружениями (существующими коммуникациями, дорогами и т.д.). Отметку земли в местах пересечений и характерных точках определяют методом интерполяции между горизонталями или существующими точками на карте. Главный недостаток данного способа заключается в недостаточной скорости построения профиля, обязательного наличия опыта и навыка исполнителя, отсутствии автоматизации выполнения работ и значительных усилий, особенно при работе с большим объемом данных и при необходимости анализа большого количества параметров.

Второй метод построения продольных профилей производится с помощью программного продукта nanoCAD GeoniCS [9].

При его реализации цифровая модель местности (ЦММ) импортируется в программную среду nanoCAD GeoniCS. Для построения цифровой модели поверхности земли, рис. 3, могут использоваться различные источники данных – геоточки, 3D-полилинии, блоки, 3D-границы или другие объекты. В результате построения поверхности формируется триангуляционная нерегулярная сеть (TIN-модель), которая отображается множеством смежных треугольных граней. Каждая такая грань представляет собой треугольный элемент, вершины которого образованы точками с известными координатами. Для построения профиля задается исходная полилиния, автоматически преобразуемая в трассу с равномерной разбивкой пикетажа и нанесением подписей согласно выбранному стандарту оформления.

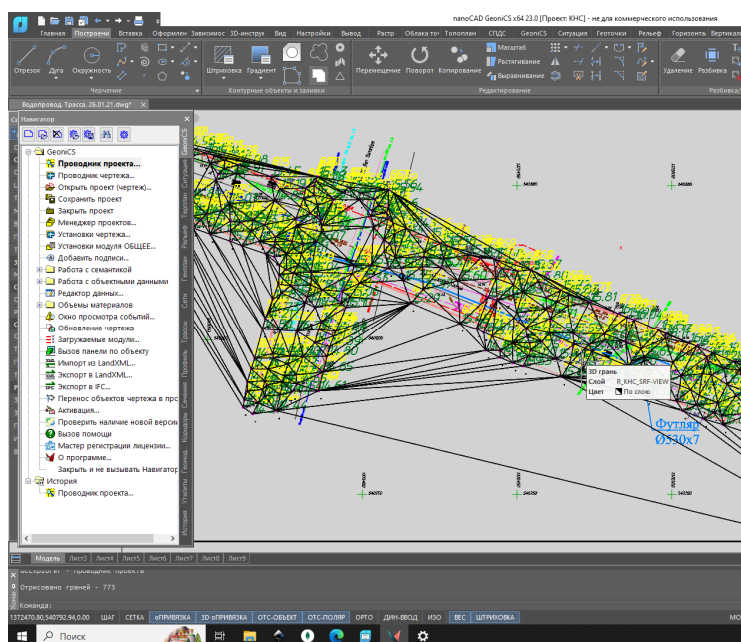


Рис. 3. Построение поверхности земли по геоточкам в программе nanoCAD GeoniCS

На профиль наносятся пересечения с существующими инженерными сетями. При этом важно учитывать высотное положение пересекаемых сооружений, чтобы обеспечить актуальность данных. На основе созданной цифровой модели рельефа автоматически выполняется построение продольного профиля (рис. 4) поверхности земли выбранной трассы с отображением пересечений с существующими объектами.

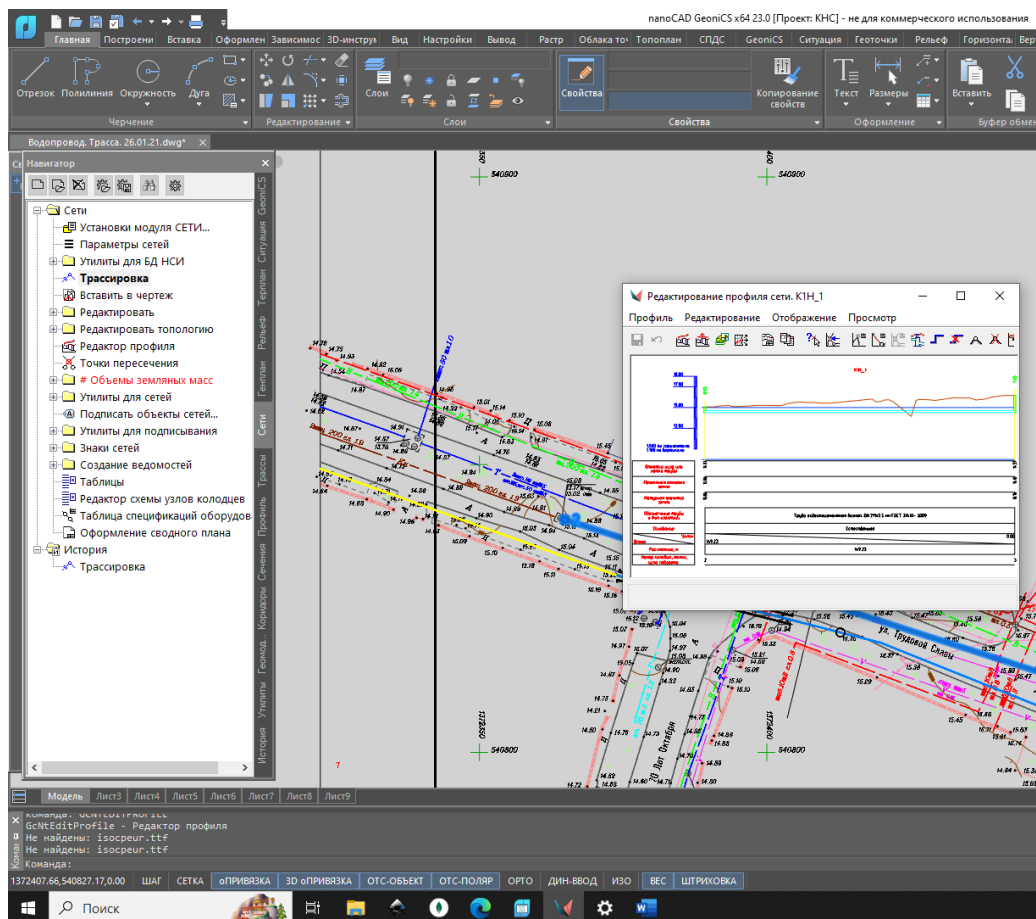


Рис.4. Построение продольного профиля в программе nanoCAD GeonICS

Одним из недостатков автоматизированного построения профилей является некорректное отображение линии профиля, особенно в условиях горной местности [10]. В таких случаях для достижения точности и соответствия реальным условиям возникает необходимость ручного сглаживания отдельных участков.

Итоговый вариант построенного продольного профиля представлен на рисунке 5. Он включает в себя результаты проведенных расчетов и проектных решений, в том числе проектные и натуральные отметки земли, уклон трассы, обозначение трубы и тип изоляции, номера колодцев, углы поворота, глубину заложения, способ производства работ, а также взаимодействие с существующими инженерными сетями.

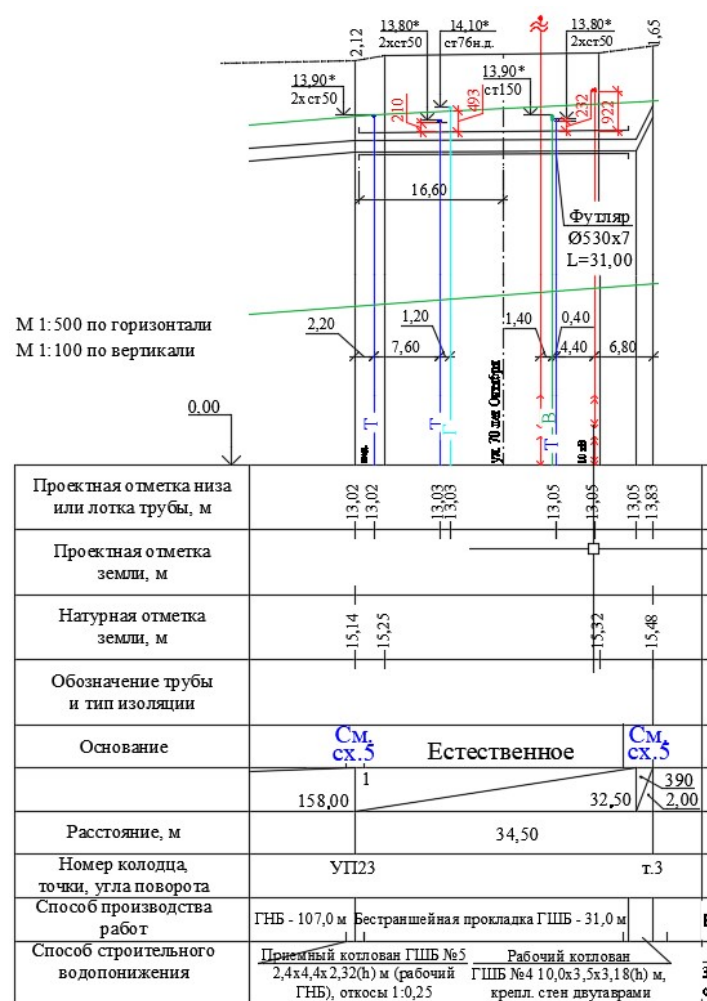


Рис. 5. Продольный профиль водопроводной сети

Заключение

Построение продольного профиля представляет собой важный этап проектирования, строительства и реконструкции подземных коммуникаций, поскольку обеспечивает точное определение пространственного положения трассы и ее взаимодействия с окружающей инфраструктурой. Ключевым аспектом данного процесса является выбор оптимального маршрута проектируемой трассы, который должен учитывать наличие существующих объектов, инженерных сетей и других элементов инфраструктуры, что позволяет минимизировать риски и обеспечить эффективность реализации проекта.

Для построения профилей необходимо использовать специализированное программное обеспечение, которое обеспечивает точность, надежность и удобство использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения // Дата введения 2017-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2017.
2. Постановление от 16 февраля 2008 года N 87 О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию. – Москва: Стандартинформ, 2020.

3. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ Приказ Минстроя РФ от 16.05.2023 N 344/ПР об утверждении состава и порядка ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства. [Электронный ресурс] Введ. 01.09.2023 М., 2023 // СПС «Консультант Плюс»
4. В.В. Авакян. Прикладная геодезия. Технологии инженерно-геодезических работ // – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – С. 615.
5. М. В. Мурзинцева, Е. В. Минченко, В. Е. Терещенко, М. Н. Мурзинцев. Совершенствование методики выполнения инженерно-геодезических изысканий для проектирования подземных коммуникаций. // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 50–59
6. Е.Д. Подрядчикова, А.А. Николаева. Анализ программного обеспечения, применяемого для построения продольных профилей линейных объектов // Сборник научных трудов по материалам II национальной научно-практической конференции. – Омск, 2021. – С. 65-69.
7. Методические указания к лабораторной работе «Построение продольного профиля» / сост. М. А. Кардаев – Сиб. авт.-дор.институт. Омск, 1980. – 12 с.
8. М. В. Мурзинцева, Е.В. Минченко, Н. М. Рябова. Создание цифровой модели местности на основе архивных топографических планов для разработки проекта подземной коммуникации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Т. 1. – С. 94-100.
9. В. М. Габидулин. Основы работы в nanoCAD // – М. : ДМК Пресс, 2018. – С. 176.
10. А.А.Ершова Построение продольного профиля линии электропередачи для ее реконструкции в части подвески грозозащитного троса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ, 2014. Т. 1. – С. 29-34.

© М. В. Мурзинцева, 2025

Я. А. Некрестов^{1✉}

Исследование влияния изменения расстояния до координируемого объекта на точность визуального позиционирования EFT M5

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

Аннотация. Технология визуального позиционирования (ВП) еще недостаточно исследована, так как на российском рынке геодезического оборудования она появилась сравнительно недавно. Визуальное позиционирование – это дополнение к режиму RTK (Real Time Kinematic), которое позволяет выполнять съемку объектов на расстоянии и в гораздо большем объеме собирать информацию, чем с использованием традиционных методов съемки или RTK. Результатом камеральной обработки являются плотные облака точек, которые, в дальнейшем, можно использовать для построения 3D моделей. По причине дороговизны оборудования закупают подобные приборы только большие компании. Однако, в последнее время ГНСС-приемники со встроенным фотограмметрическим модулем становятся популярнее. Целью работы является исследование влияния изменения расстояния до объекта на результаты съемки в режиме визуального позиционирования. По результатам выполненных исследований установлено, что с сохранением точности производить съемку с применением визуального позиционирования можно на расстоянии в 5 раз превышающем максимальное рекомендованное заводом-изготовителем.

Ключевые слова: визуальное позиционирование, RTK, фотограмметрия, геодезия

Y. A. Nekrestov^{1✉}

Study of the influence of changing the distance to the coordinated object on the accuracy of visual positioning EFT M5

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

Abstract. Visual positioning (VP) technology has not been sufficiently studied yet, as it has appeared on the Russian market of geodetic equipment relatively recently. Visual positioning is an addition to the RTK (Real Time Kinematic) mode, which allows you to shoot objects at a distance and collect information in a much larger volume than using traditional survey methods or RTK. As a result of office processing, it allows you to build dense point clouds, which can then be used to build 3D models. Due to the high cost of equipment, only large companies purchase such devices. However, recently GNSS receivers with a built-in photogrammetric module are beginning to gain popularity. The purpose of the work is to study the effect of changing the distance to the object on the results of shooting in the visual positioning mode. Based on the results of the studies, it was found that with maintaining accuracy, shooting using visual positioning can be done at distances 5 times greater than the maximum recommended by the manufacturer.

Keywords: Visual positioning, RTK, photogrammetry, survey

Введение

Технология визуального позиционирования (ВП) еще недостаточно исследована, так как на российском рынке геодезического оборудования она появилась сравнительно недавно. По причине дороговизны оборудования закупают

подобные приборы только большие компании. Однако, в последнее время ГНСС-приемники со встроенным фотограмметрическим модулем становятся популярнее. В частности, крупнейшая нефтедобывающая компания в РФ ПАО «Газпром» направила рекомендательное письмо об использовании данной технологии на объектах нефтегазодобычи.

На сегодняшний день, встроенный фотограмметрический модуль присутствует в ряде ГНСС-приемников, что позволяет выполнять фотограмметрическую съемку. Такая реализация значительно уменьшает финансовые, временные и трудовые затраты для производства геодезических работ. Однако, фотограмметрический модуль имеет аппаратные ограничения, такие как разрешающая способность и фиксированное фокусное расстояние.

Целью данного исследования является выявление влияния изменения расстояния от ровера до объекта на точность, получаемую при вычислении координат по группам снимков с использованием фотограмметрического модуля EFT M5 [1].

Исследование является актуальным, так как использование подобного оборудования в геодезических работах не регламентируется нормативной документацией.

Методы и материалы

В целях исследования влияния изменения расстояния до координируемого объекта на точность вычисления координат по группам снимков с помощью визуального позиционирования (ВП) был выполнен ряд экспериментальных измерений. Оборудование и программное обеспечение для выполнения экспериментальных измерений было предоставлено компанией EFT GROUP [2]. Съемка с помощью ВП выполнена ГНСС-приемником EFT M5. Для получения поправок использовалась сеть базовых станций EFT CORS [3].

Измерения выполнялись по адресу г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, д. 165. В качестве координируемого объекта выбран фасад здания (рис. 1).



Рис. 1. Общий план координируемого объекта

Измерения выполнены на расстояниях, находящихся за пределами, максимальных, рекомендуемых производителем. Рекомендуемое производителем расстояние для выполнения съемки с помощью ВП находится в пределах от 2 до 10 метров. Экспериментальные измерения выполнены в 4 ряда. Группы снимков находятся на расстоянии 15 м, 25 м, 35 м и 50 м до координируемого объекта. Измерения выполнены в ручном и автоматическом режимах (рис. 2).

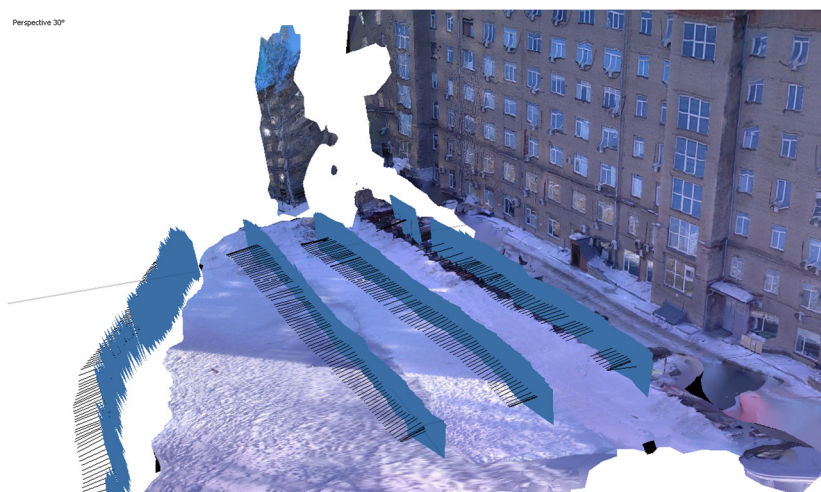


Рис. 2. Расположение рядов групп снимков объекта

Для камеральной обработки использовано программное обеспечение Agisoft Metashape [4].

Результатом камеральной обработки ВП является построение плотного облака точек и тайловой модели (рис. 3).

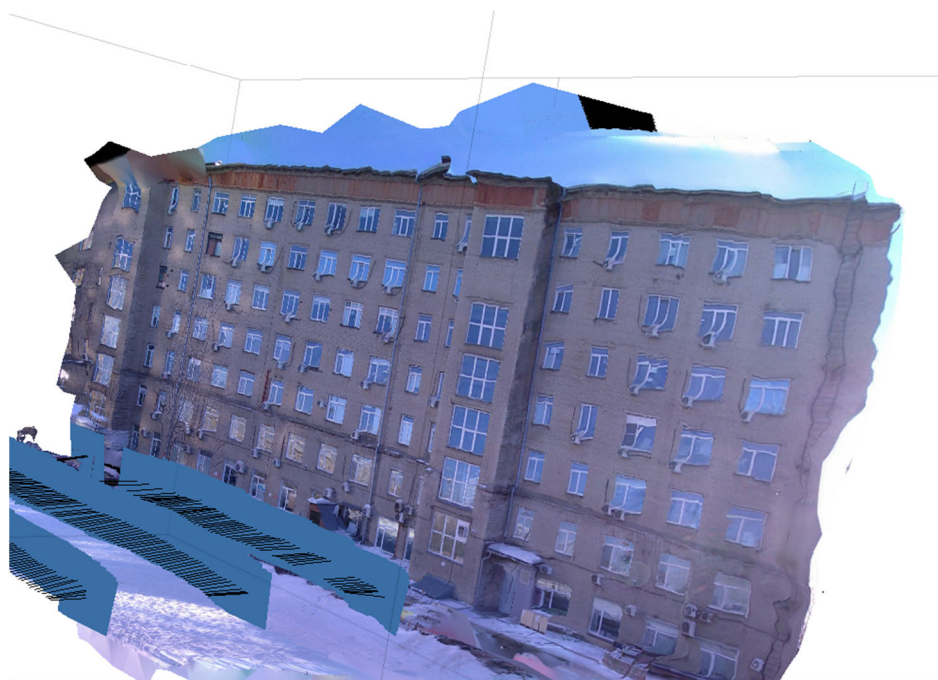


Рис. 3. Результат построения тайловой модели фасада

Углы оконных проемов и круглые белые вставки на наружных блоках сплит-систем выбраны в качестве координируемых точек для сравнения с эталонными. Точки выбраны по центру и по краям групп снимков (рис. 4).

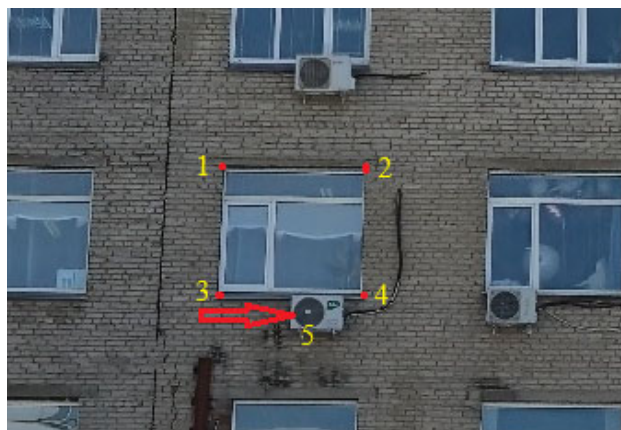


Рис. 4. Точки, выбранные для скалывания

Точки, заранее отснятые с помощью электронного тахеометра EFT TS2, были приняты за эталонные.

После скалывания нужных точек в Metashape выполнен экспорт координат этих точек в текстовом файле для последующего сравнения с эталонными координатами.

Следует отметить, что в обработку группы снимков включались попарно, например, на расстоянии 25 м и 35 м, 15 м и 25 м и т.д. Из предыдущих исследований ясно, что для получения более точных координат следует включать в обработку снимки, сделанные с разных расстояний до объекта [5].

Результаты

Результаты вычисления разностей координат точек, снятых с помощью ВП в ручном режиме и электронным тахеометром, представлены в виде диаграмм (рис. 5, 6, 7). Наибольшие и наименьшие (dx , dy , dh) отклонения от истинных значений отображены в виде таблицы, табл. 1.

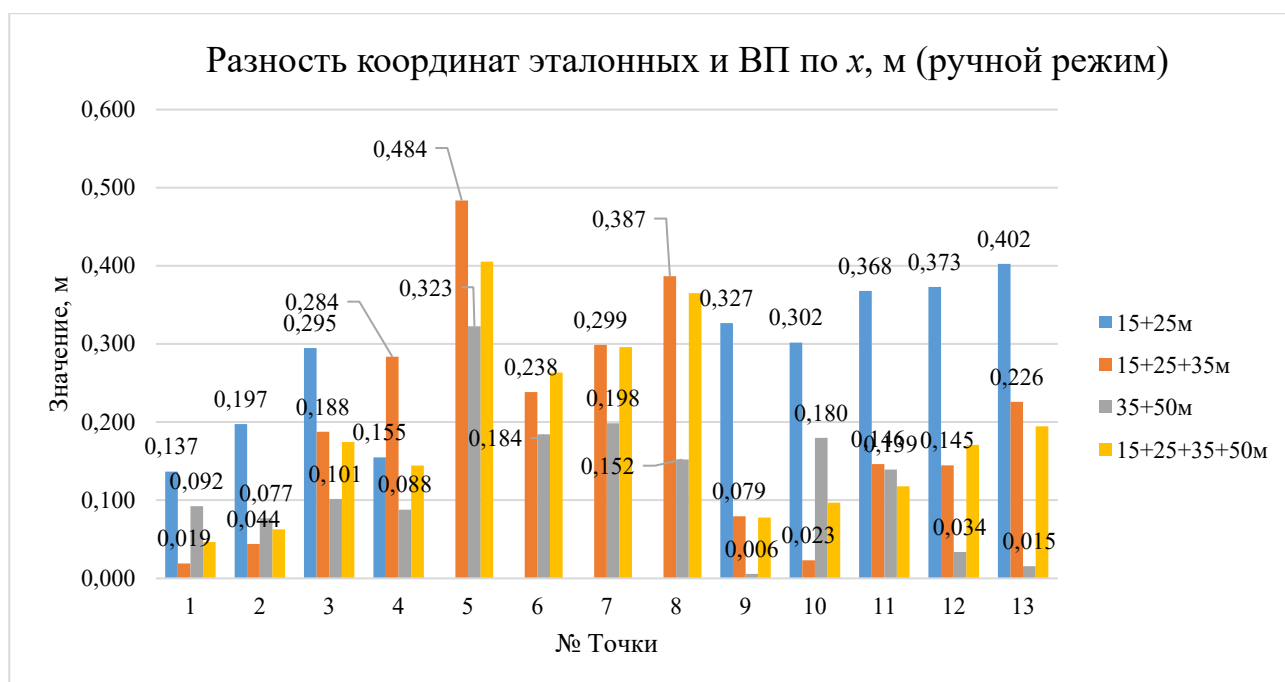


Рис. 5. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси x

Точки под номерами 5, 6, 7 и 8 (группа 2) находятся на 5 этаже здания, а также на краю групп изображений. Эти точки выбраны не случайно и для того, чтобы исследовать отклонение, вызванное расстоянием, более чем в 5 раз превышающее максимальное рекомендованное производителем (10 м), а также вызванное расположением координируемого объекта на краях групп изображений. Эти точки не видны на группах снимков, сделанных с расстояний 15 и 25 м.

Точки под номерами 1, 2, 3, 4 (группа 1) расположены на 3 этаже здания, но также на краю групп снимков. Такое расположение координируемых точек необходимо для того, чтобы сократить расстояние, но сохранить влияние расположения точек на краях групп снимков.

Точки 9, 10, 11, 12, 13 (группа 3) расположены на 3 этаже здания и по центру групп изображений.

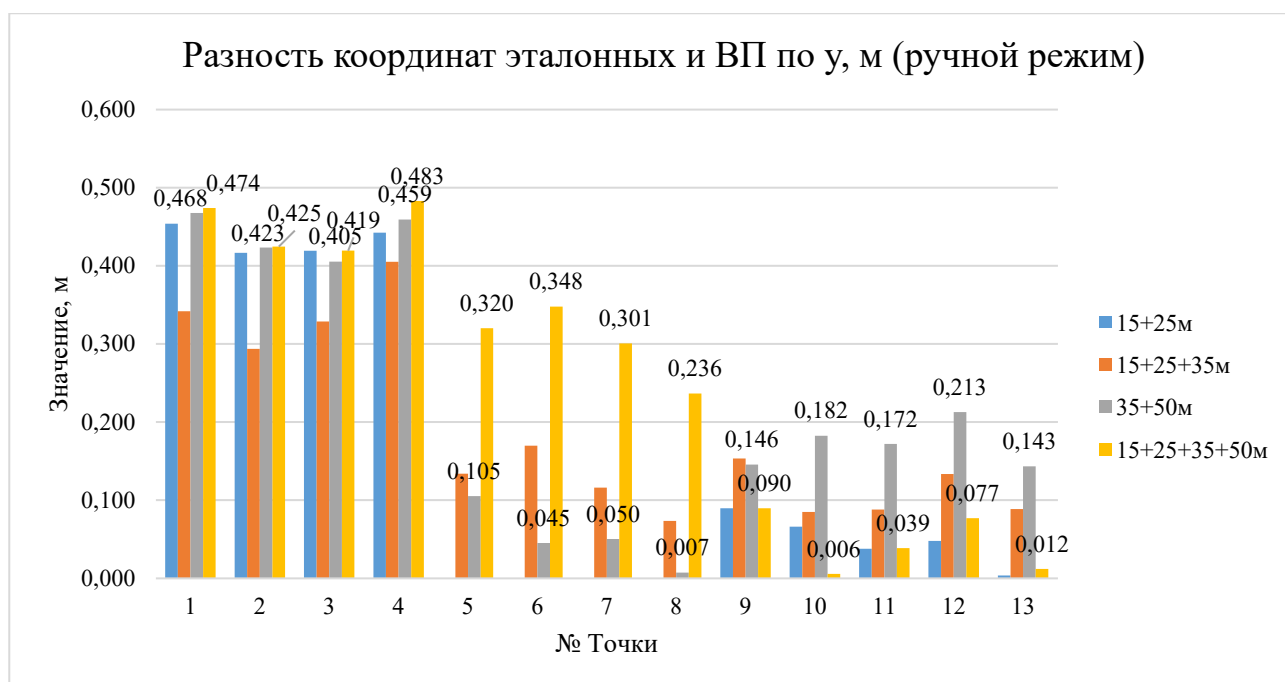


Рис. 6. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси у

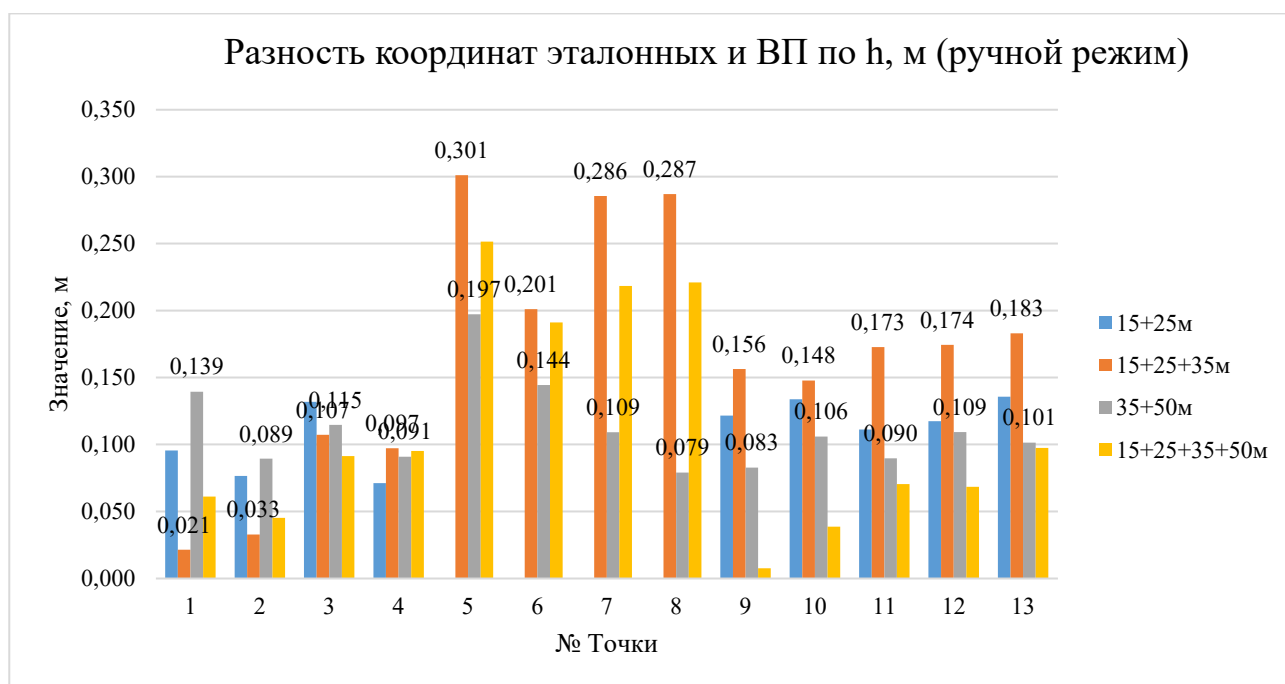


Рис. 7. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси h

Анализ диаграмм (рис. 5, 6, 7) показал, что на всех расстояниях максимальные отклонения по осям x и h выявлены у точек группы 2. Точки группы 1, так же находясь на краю групп снимков, но на меньшем расстоянии показали меньшую разницу с эталонными координатами по осям x , h , но самую большую по оси y .

Можно сделать вывод, что при работе с визуальным позиционированием в ручном режиме возможно получать точность первых сантиметров даже с рассто-

яний, превышающих рекомендованные, но при соблюдении перекрытия, для того, чтобы координируемые контуры были определены на максимальном количестве снимков, а также необходимо изменение расстояния до объекта [5].

Таблица 1

Разности вычисленных и эталонных координат. Ручной режим

Комбинации групп изображений	Dx наим/наиб	Dx , м	Dy наим/наиб	Dy , м	Dh наим/наиб	Dh , м
15 м + 25 м	Dx наим	0,137 м	Dy наим	0,004 м	Dh наим	0,071 м
	Dx наиб	0,402 м	Dy наиб	0,454 м	Dh наиб	0,136 м
15 м + 25 м + 35 м	Dx наим	0,019 м	Dy наим	0,073 м	Dh наим	0,021 м
	Dx наиб	0,484 м	Dy наиб	0,405 м	Dh наиб	0,301 м
35 м + 50 м	Dx наим	0,006 м	Dy наим	0,007 м	Dh наим	0,079 м
	Dx наиб	0,323 м	Dy наиб	0,468 м	Dh наиб	0,197 м
15 м + 25 м + 35 м + 50 м	Dx наим	0,046 м	Dy наим	0,006 м	Dh наим	0,007 м
	Dx наиб	0,405 м	Dy наиб	0,483 м	Dh наиб	0,251 м

Необходимо отметить, что значительное влияние на точность измерений оказало искажение, которое присутствует по краям групп снимков. Дополнительно, из-за проведения съёмки в ручном режиме, интервалы между точками фотографирования оказались значительно больше, чем при автоматизированной съёмке, что обусловило уменьшение количества соответственных точек на изображениях.

Ввиду отсутствия солнцезащитного козырька над камерой со стороны восхождения Солнца появились засветки на краях некоторых снимков, которые, вероятно, также повлияли на результаты построения плотного облака точек (рис. 8).



Рис. 8. Влияние искажения по краям групп изображений

Таким образом, точки, оказавшиеся на краях снимков, получили наибольшие расхождения с контрольными значениями, в тоже время точки, оказавшиеся ближе к центру групп снимков – наименьшие.

Из анализа таблицы 1 следует, что наилучший результат получился при съемке с расстояния до объекта наблюдений 35 и 50 метров, что значительно дальше рекомендуемых производителем расстояний [6]. Однако, присутствуют отклонения более чем на 20 см, что за пределами максимального отклонения, даже в масштабе съемки 1:1000. Согласно ГКИНП – 02 – 033 – 79 [7], максимальная допустимая погрешность в положении точек в плане составляет 0,2 мм в масштабе плана. Таким образом, точность положения точек при топографической съемке составляет 10 см и 20 см в масштабах 1:500 и 1:1000 соответственно.

Для наглядности, результаты вычисления разностей координат по осям x и y , а также по высоте h , полученных в режиме визуального позиционирования, при съемке в автоматическом режиме, и эталонных координат отображены на диаграммах (рис. 9, 10, 11.)

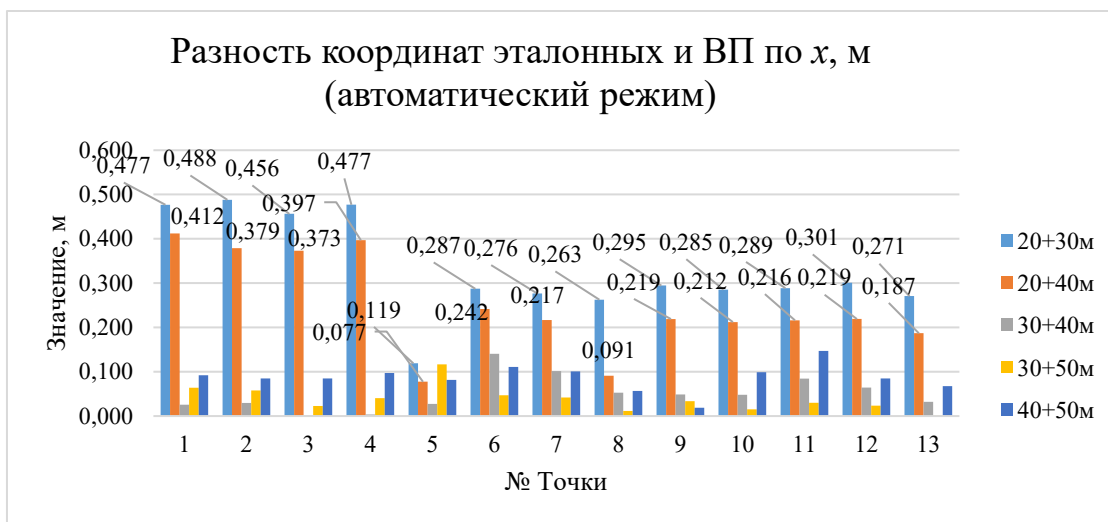


Рис. 9. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси x

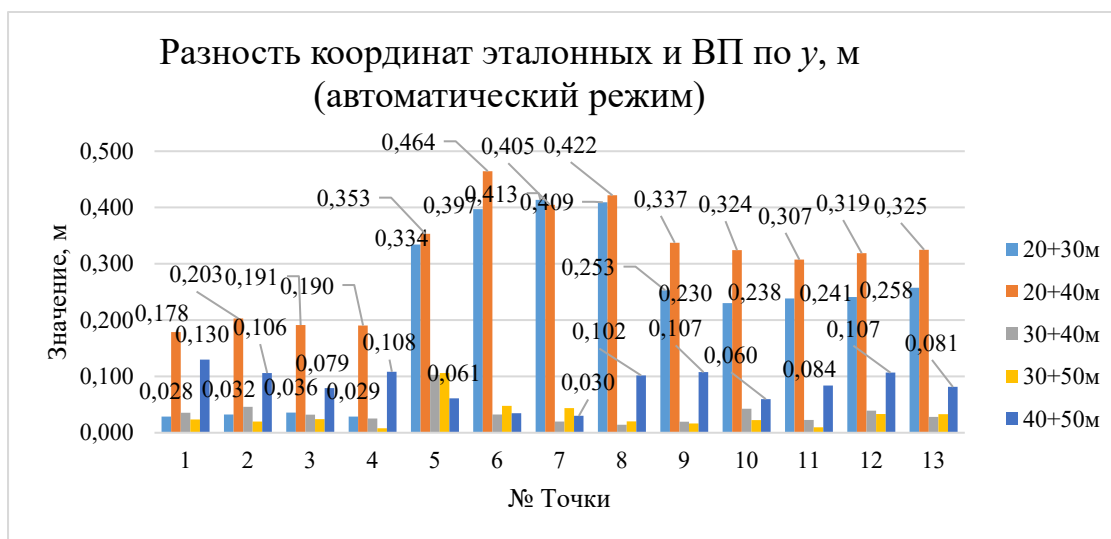


Рис. 10. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси y

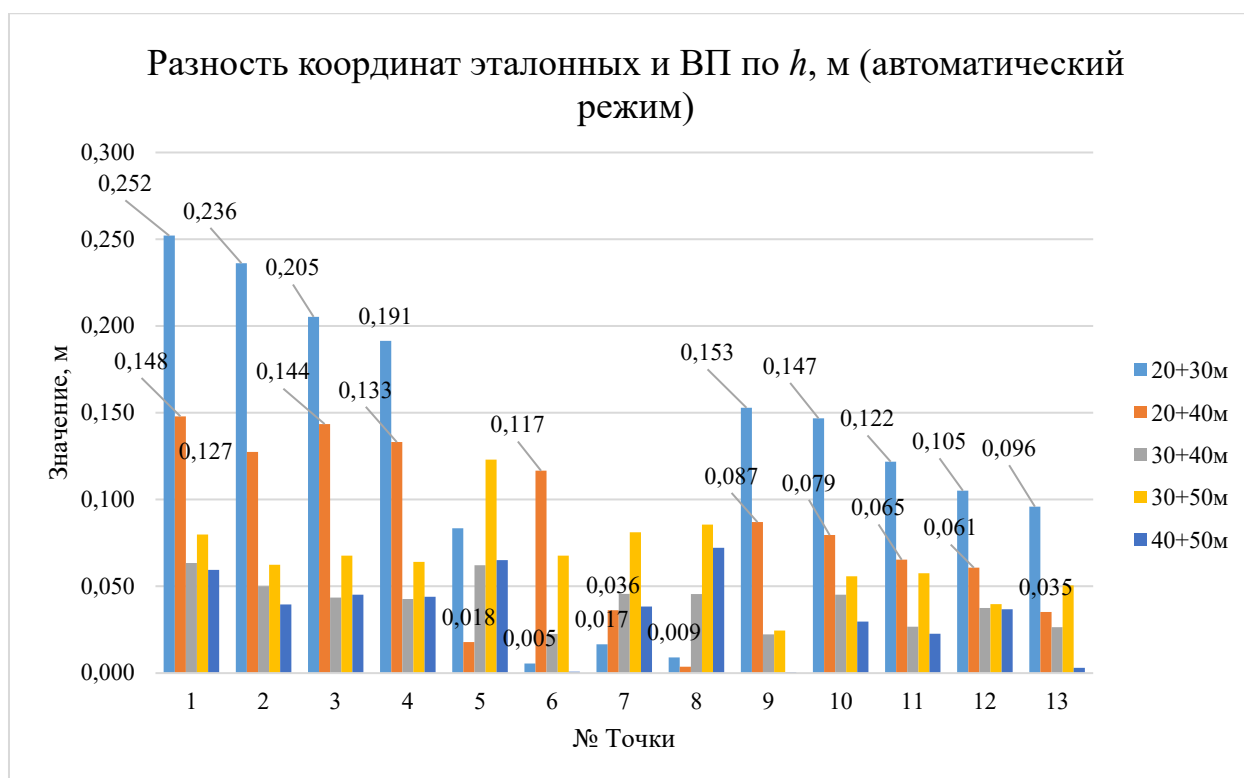


Рис. 11. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси h

Из анализа графиков (рис. 9, 10, 11) можно сделать вывод, что наибольшие отклонения в плане от эталонных значений получили те точки, которые находились максимально с краю групп изображений.

Следует отметить, что наибольшие отклонения выявлены у точек, координаты которых вычислены из комбинаций групп изображений, сделанных на расстояниях 20 и 30 м, и 20 и 40 м. Вероятно, на результат повлияло малое количество используемых снимков для вычисления координат точек т.к. на расстоянии 20 м от фасада ввиду ограниченного поля зрения камеры оператор захватывает значительно меньше площади объекта. Таким образом, получается меньше соответственных точек на снимках и, следовательно, уменьшение точности.

Режим визуального позиционирования является дополнением к режиму RTK (Real Time Kinematic). Поэтому точность визуального позиционирования напрямую зависит от решения RTK.

Можно сделать вывод, что на точность группы изображений, сделанной на расстоянии 20 м оказала влияние плохая геометрия спутников ввиду ограничения небосвода.

Группы снимков, не включающие в себя группу снимков, сделанных на расстоянии 20 м, показали результаты, удовлетворяющие требованиям топографической съемки в масштабах 1:500 и 1:1000.

Результаты вычислений разностей координат точек с эталонными, снятых с помощью ВП в автоматическом режиме, представлены, табл. 2.

Таблица 2

Разности вычисленных и эталонных координат. Автоматический режим

Комбинации групп изображений	Dx наим/наиб	Dx, м	Dy наим/наиб	Dy, м	Dh наим/наиб	Dh, м
20м + 30м	Dx наим	0,119	Dy наим	0,028	Dh наим	0,005
	Dx наиб	0,488	Dy наиб	0,413	Dh наиб	0,252
20м + 40м	Dx наим	0,077	Dy наим	0,178	Dh наим	0,004
	Dx наиб	0,412	Dy наиб	0,464	Dh наиб	0,148
30м + 40м	Dx наим	0,002	Dy наим	0,014	Dh наим	0,022
	Dx наиб	0,140	Dy наиб	0,103	Dh наиб	0,063
30м + 50м	Dx наим	0,001	Dy наим	0,008	Dh наим	0,024
	Dx наиб	0,117	Dy наиб	0,106	Dh наиб	0,123
40м + 50м	Dx наим	0,019	Dy наим	0,030	Dh наим	0,001
	Dx наиб	0,147	Dy наиб	0,130	Dh наиб	0,072

Из анализа таблицы 2 следует, что, облако точек, построенное по съемке ВП, выполненной в автоматическом режиме, ближе к эталонным значениям, чем облако точек, построенное по съемке ВП в ручном режиме. Также следует, что измерения, выполненные с расстояний 30, 40 и 50 м удовлетворяют требуемой точности выполнения топографической съемки кустовых площадок и внутри-промысловых дорог [7].

Заключение

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что съемку в режиме визуального позиционирования можно проводить с расстояний до 50 м с сохранением точности первых сантиметров. Для получения максимально достоверных результатов следует удерживать координируемый объект максимально близко к центру групп снимков, так как с увеличением расстояния до объекта влияние искажения по краям групп снимков, обусловленное уменьшением количества соответственных точек на снимках, увеличивается.

Точность построения цифровых 3D моделей удовлетворяет требуемой точности для производства геодезических работ для строительства объектов нефтегазодобычи, а также для подсчета объемов работ и буртов.

Благодарности

Выражается благодарность компании EFT Group в содействии и предоставлении необходимого для выполнения исследования оборудования и программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.

2. Сайт компании EFT Group. – Текст: электронный / URL: <https://eftgroup.ru/> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступ: общий доступ.
3. Сеть базовых станций EFT CORS. – Текст: электронный / URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.
4. Сайт компании Agisoft Metashape. – Текст: электронный / URL: <https://www.agisoft.com/> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступ: общий доступ.
5. 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.
6. Аппаратура геодезическая спутниковая «EFT M5 RUS». Руководство по эксплуатации. М., 2023. – Текст: электронный/ URL: https://eftgroup.ru/upload/iblock/997/5lsffm30frwyio6vetj9khx53q3jpmpr4/RukovoDstvo_po_ekspluatatsii_EFT_M5_RUS.pDf (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.
7. ГКИНП 02-033-79 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – Утверждён: 05.10.1979 Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М. Недра, 1982

© Я. А. Некрестов, 2025

А. В. Никонов^{1,2}✉

Создание внутрицеховой геодезической сети с применением отвесов

¹ АО «Сибтехэнерго», г. Новосибирск, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: sibte@bk.ru

Аннотация. С целью монтажа и выверки технологического оборудования, а также выполнения контрольных геодезических съемок внутри промышленных цехов создаются геодезические сети специального назначения (внутрицеховые сети). Такие сети часто строятся по технологии «свободной станции», пункты сети закрепляются пленочными отражателями на строительных конструкциях. Использование пленочных отражателей ограничивается предельным углом между визирной осью и нормалью к отражающей поверхности, который не должен превышать 30°. Предлагается конструкция визирной цели в виде отвеса цилиндрической формы, благодаря чему расстояние до цели может быть измерено с любой точки цеха. Применение отвесов позволяет обеспечить мобильность при развитии внутрицеховой сети. В статье рассмотрены результаты лабораторных исследований, в ходе которых построена цепочка обратных линейно-угловых засечек с использованием разработанных отвесов.

Ключевые слова: внутрицеховая геодезическая сеть, отвес, обратная засечка, точность геодезических измерений

A. V. Nikonov^{1,2}✉

Development of intra-workshop geodetic network using plumbs

¹Sibtechenergo, Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: sibte@bk.ru

Abstract. For the installation and verification of process equipment, as well as control geodetic surveys inside industrial workshops, intra-workshop geodetic networks are created. Such networks are often built using the «free station» technology. Network points are fixed with film reflectors on building structures. The use of film reflectors is limited by the maximum angle between the sighting axis and the normal to the reflecting surface, which should not exceed 30°. A design of a sighting target in the form of a cylindrical plumb bob is proposed, due to which the distance to the target can be measured from any point in the workshop. The use of plumb bobs ensures mobility when developing an intra-workshop network. The article considers the results of laboratory studies, during which a chain of reverse linear-angular resection was performed using plumb bobs.

Keywords: intra-workshop geodetic network, plumb, reciprocal resection, accuracy of geodetic measurements

Введение

В отечественных нормативных документах отсутствует такой термин как «внутрицеховая геодезическая сеть», так как данная сеть имеет узкоспециализи-

рованную область применения и требует нестандартных методик измерений для ее создания. По принятой в своде правил [1] терминологии, внутрицеховую сеть можно классифицировать как геодезическую сеть специального назначения (ГССН), которая используется в качестве геодезической основы инженерных изысканий на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений. Для того чтобы подчеркнуть отличие ГССН, создаваемой для обеспечения инженерных изысканий или выполнения разбивочных работ, от ГССН, используемой для выверки технологического оборудования и решения специальных задач прикладной геодезии, во втором случае будем применять термин «внутрицеховая геодезическая сеть».

Введем определение: внутрицеховая геодезическая сеть – планово-высотное, зачастую пространственное (пункты располагаются на разных уровнях), геодезическое построение, создаваемое внутри производственных цехов с целью обеспечения выверки технологического оборудования, проведения контрольных съемок каркаса промышленного здания (включая крановые пути мостовых кранов), а также наблюдения за деформациями и перемещениями отдельных элементов строительных конструкций или оборудования. При новом строительстве создание внутрицеховой сети подразумевается после возведения каркаса здания и устройства пола и служит для монтажа и выверки технологического оборудования. Нередко такая сеть создается в период эксплуатации объекта, когда требуется геодезическая основа для выверки технологического оборудования в межремонтный период. Кроме того, при эксплуатации промышленного объекта в течение многих лет, в период обследования здания необходимо получение сведений о фактической геометрии его несущих конструкций (их положение, наличие кренов, прогибов и иных деформаций) [2]. Полученные данные используются для выполнения поверочных расчетов здания, принятия технических решений по усилению строительных конструкций, а также разработки проекта реконструкции объекта.

При создании внутрицеховой сети принимается условная система координат. При выверке оборудования одна из осей системы координат задается параллельно главной оси конвейера, печи и т.д. При создании сети для съемки строительных конструкций ось условной системы координат задается параллельно одной из осей здания. Для этих целей в процессе создания сети выполняется съемка центров колонн и других характерных строительных конструкций, относительно которых можно рассчитать положение осей здания. В камеральных условиях определяют вероятнейшее положение осей здания, после чего производят пересчет всех координат проекта, в том числе координат пунктов внутрицеховой сети, путем разворота координатных осей [3].

Внутрицеховая сеть закрепляется в виде пленочных отражателей, наклеиваемых на несущих строительных конструкциях или фундаментах, а также в виде дюбелей в полу. При создании внутрицеховой пространственной сети (пункты закрепляются на разных уровнях) крупных производственных корпусов, высота которых в отдельных случаях превышает 100 м, со временем возможно нарушение взаимной увязки пленочных отражателей [2]. Это связано с заметными тем-

пературными деформациями каркаса здания, возникающими при включении/отключении оборудования или перепадах температуры наружного воздуха, а также с влиянием ветровой нагрузки. При высокоточной выверке технологического оборудования в каждом цикле измерений также приходится заново выполнять все измерения в сети, так как положение марок меняется со временем.

Точность внутрицеховой сети

Внутрицеховая сеть создается на каждом объекте под конкретную цель с учетом местных особенностей (конфигурации цеха, влияния внешних условий), поэтому не существует универсальных критериев ее точности. В прошлом (до внедрения электронных тахеометров) точность специальной цеховой сети характеризовалась относительными погрешностями взаимного положения пунктов 1:15 000–1:25 000 [4]. В настоящее время предъявляются повышенные требования к монтажу и выверке технологического оборудования предприятий металлургической, горнодобывающей, энергетической и других отраслей. Требуемая точность установки оборудования порой достигает 0,1–0,5 мм, а относительные ошибки в сети составляют 1:200 000 и точнее [5].

Установление требуемой точности измерений – один из важнейших факторов повышения качества выполнения проекта, определения оптимальных трудовых затрат на установку конструкций и оборудования в проектное положение в период монтажа и ремонтных работ, а также выполнения контрольных измерений при оценке их технического состояния в процессе эксплуатации [6].

Общий принцип расчета точности средних квадратических ошибок положения пунктов внутрицеховой сети должен исходить из заданных проектом технологических допусков Δ на положение оборудования (симметричное предельно допустимое отклонение δ равно половине допуска Δ). Чтобы влияние ошибок разбивочных работ на допустимое технологическое отклонение δ было пренебрегаемо малым, суммарная предельная ошибка геодезических разбивочных работ δ_r принимается равной половине от величины δ [7]:

$$\delta_r = \frac{\delta}{2} = \frac{\Delta}{4}. \quad (1)$$

Для перехода от предельной ошибки геодезических измерений к средней квадратической ошибке (СКО) применяется коэффициент t , зависящий от ответственности сооружения или оборудования ($t=2$ при вероятности $P=0,954$, $t=2,5$ при $P=0,988$ и $t=3$ при $P=0,997$). Если $t=2,5$, то средняя квадратическая ошибка геодезических измерений составит:

$$\sigma_r = \frac{\delta_r}{2,5} = \frac{\delta}{5}. \quad (2)$$

Полученный по формуле (2) результат соответствует требованиям ГОСТ [8], где сказано, что для измерений, выполняемых при контроле точности изго-

товления и установки изделий максимально допускаемая погрешность измерений не должна превышать 0,2 от допуска измеряемого геометрического параметра, установленного нормативными документами и технической документацией на объект контроля.

Например, при допустимом отклонении положения элемента оборудования от проектного $\delta = \pm 5$ мм, СКО геодезических измерений не должна превышать 1 мм. Принимая во внимание принцип равных влияний, СКО положения пунктов внутрицеховой сети не должна превышать 0,7 мм, и такая же ошибка отводится на съемочные работы (ошибки определения характерных точек на оборудовании). Столь высокие требования к точности создания внутрицеховой сети возможны лишь на локальном участке цеха (не более 80–100 м) и только при соблюдении ряда условий:

- применение высокоточных электронных тахеометров с СКО измерения расстояний до 0,5 мм и углов до 2'';

- выполнение многократных измерений при визировании на пленочные отражатели (марки) и элементы оборудования при двух положениях вертикального круга с записью результатов на ноутбук непосредственно в цехе. Многократность наведений позволяет несколько сократить негативное влияние на результаты измерений внешних условий, например, уменьшить случайную составляющую ошибки из-за колебаний изображения цели, обусловленную конвекционными потоками нагретого воздуха [9]. Для проведения он-лайн измерений хорошо зарекомендовал себя программно-аппаратный измерительный комплекс «Визир 3D» [5, 10, 11], в том числе позволяющий выполнять первичную обработку получаемых результатов и отбраковывать значения, выходящие за установленный допуск. Заметим, что команда для выполнения измерений подается с ноутбука, что исключает смещение прибора при нажатии на нем клавиш;

- выполнение в сети большого количества избыточных измерений. Обычно на одни и те же точки сети выполняются измерения два раза и более с разных точек стояния прибора.

Если средние квадратические ошибки положения пунктов сети после уравнивания превысят расчетные или допустимые значения, то эта сеть может применяться только для выноса главных осей оборудования, относительно которых дальнейшая выверка осуществляется специальными методами прикладной геодезии (створные измерения и пр.). Для установки в проектное положение уникального оборудования с точностью позиционирования элементов до $\pm 0,1$ мм (например, магнитов ускорительно-накопительных комплексов) применяются лазерные трекары и специальное программное обеспечение (Spatial Analyzer) [12, 13].

Применительно к авиастроительной отрасли в работе [14] предложена следующая классификация ГССН: высокоточная (при предельном отклонении фактической геометрии изделия от проектных значений $\delta < \pm 1$ мм), точная (при $\pm 1 \text{ мм} < \delta < \pm 2$ мм) и техническая (при $\delta > \pm 2$ мм).

Требования к точности внутрицеховой сети, создаваемой для проведения контрольных съемок строительных конструкций здания, несколько ниже. В этом

случае ошибки положения пунктов сети относительно исходных могут достигать 5–10 мм (в зависимости от размеров цеха), а ошибки взаимного положения смежных пунктов не должны превышать 2–3 мм.

Методы создания внутрицеховой сети

Внутрицеховая геодезическая сеть создается, как правило, методом линейно-угловых построений по технологии свободной станции [5]. В вытянутых цехах возможно проложение полигонометрического хода по трехштативной системе, с точек которого выполняются измерения на все видимые пленочные отражатели (марки), закрепленные на несущих конструкциях и оборудовании [2]. Точки хода можно закрепить дюбелями и использовать в последующем как контрольные. Применять же напольные точки, как исходные для установки над ними тахеометра нецелесообразно из-за существенного влияния ошибок центрирования при малых расстояниях в цехе.

Одним из недостатков применения пленочных отражателей, закрепляемых на колоннах каркаса здания, является ограничение на отклонение визирного луча от нормали к поверхности пленки. Экспериментально доказано, что при отклонении визирного луча от нормали к поверхности отражения более чем на 30° – 40° измеренное расстояние будет получено с систематической ошибкой более 5 мм [15].

Для устранения указанного недостатка в качестве визирных целей предлагается использовать отвесы цилиндрической формы (рис. 1), которые подвешиваются на стальной струне с помощью кронштейна (последний на магните закрепляется на стальных колоннах здания).



Рис. 1 – Конструкция отвеса цилиндрической формы

Стальной цилиндр имеет высоту и диаметр 40 мм. Он разделен по высоте на две части с помощью окраски (граница окрашенной части является носителем отметки). Визирование на отвес выполняется следующим образом: нить отвеса вводится в биссектор сетки нитей; горизонтальная нить сетки нитей наводится на середину отвеса (на границу окрашенной и неокрашенной частей отвеса). К

горизонтальному проложению, измеренному до поверхности цилиндра, прибавляется величина радиуса $R=20$ мм. Цилиндрическая форма отвеса позволяет обеспечить перпендикулярность визирной оси к отражающей поверхности при наведении на отвес с любой стороны.

Апробация визирных целей и обсуждение результатов

С целью проверки пригодности визирных целей в виде цилиндрических отвесов для построения внутрицеховой сети были выполнены исследования. В лаборатории было создано геодезическое построение в виде последовательной цепочки обратных линейно-угловых засечек (рис. 2).

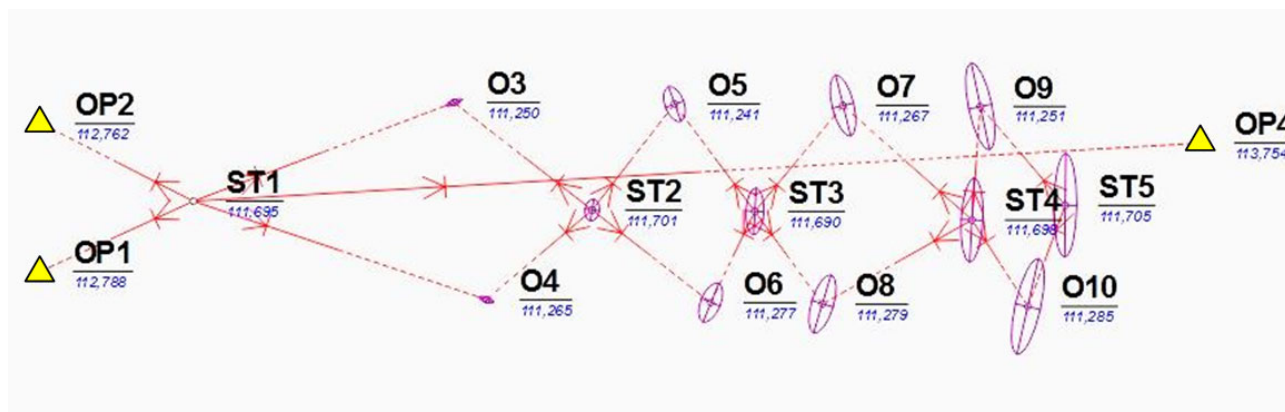


Рис. 2 – Цепочка обратных линейно-угловых засечек (аналог висячего хода)

На первой станции ST1 была осуществлена привязка к исходным пунктам OP1, OP2 и OP4, которые представляют собой пленочные отражатели, закрепленные на стенах, их координаты и высоты определены в единой системе. С первой станции также были выполнены измерения на два отвеса (O3 и O4), после чего тахеометр перемещался на следующую станцию (ST2). Со второй станции измерения выполнялись на отвесы O3 и O4, затем они переставлялись вперед (O5 и O6) и измерения на отвесы повторялись. Таким образом, последовательно переставляя тахеометр и перемещая отвесы, был проложен ход засечками, состоящий из пяти станций. Расстояние от прибора до визирных целей на станциях ST2–ST5 находились в пределах 3–5 м, расстояния от первой до пятой станции равно 23,4 м. В рассматриваемом примере отвесы использовались как временные носители координат и высот. В реальных условиях с каждой станции, наряду с отвесами, необходимо выполнять измерения на пленочные отражатели, закрепленные на оборудовании или несущих конструкциях здания.

Обработка результатов измерений выполнялась в программе Кредо ДАТ, в которую вносились отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам, а также горизонтальные проложения (при наведении на отвесы в расстояния добавлялась поправка +20 мм). Как видно из рис. 2, от станции к станции происходит накопление ошибок [16]. По форме и ориентировке эллипсов ошибок наблюдается существенная неопределенность положения точек в поперечном направ-

лении, обусловленная погрешностями угловых измерений при предельно малых расстояниях.

Для получения эталонных координат и высот станций, на каждой из них дополнительно осуществлялась обратная линейно-угловая засечка относительно исходных пунктов ОР1, ОР2 и ОР4. Результаты сравнения координат станций, полученных из цепочки обратных засечек, с эталонными значениями представлены в таблице 1. Значения средних квадратических ошибок положения станций m_{xy} , рассчитанные в Кредо ДАТ, хорошо согласуются с реальными значениями ошибок (разностями Δ). Ошибки передачи высотной отметки не превысили 2–3 мм.

Таблица 1

Сравнение координат станций из цепочки обратных засечек
с эталонными значениями

Номер станции	Координаты станций из решения цепочки обратных засечек (Кредо ДАТ)			Координаты станций эталонные (засечка от исходных пунктов)		Разности измеренных и эталонных значений, мм	
	х, м	у, м	m_{xy} , мм	$x_{э}$, м	$y_{э}$, м	$\Delta_x = x - x_{э}$	$\Delta_y = y - y_{э}$
ST1	100,250	183,219	0,2	100,250	183,220	0	-1
ST2	100,013	193,922	1,8	100,012	193,921	1	1
ST3	99,978	198,286	3,3	99,976	198,284	2	2
ST4	99,747	204,112	5,8	99,742	204,110	5	2
ST5	100,141	206,614	7,1	100,134	206,611	7	3

Построение на рис. 2 является аналогом висячего хода, т.е. бесконтрольно. Очевидно, что прокладывать цепочку засечек, состоящую более чем из двух висячих станций, из-за непредсказуемого накопления ошибок не допустимо. В рассматриваемом примере ошибка положения станции ST3 не превысила 3 мм.

Во втором варианте уравнивания для станции ST5 были заданы координаты из обратной засечки от исходных пунктов. Таким образом, получился уже не висячий ход, а ход, опирающийся в конце на точку с жесткими координатами (рис. 3).

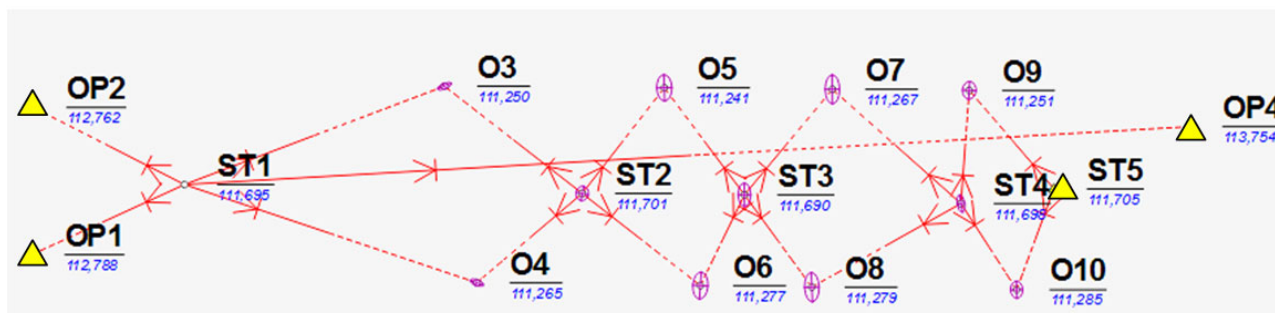


Рис. 3 – Цепочка обратных засечек, опирающаяся на исходные пункты
(аналог разомкнутого хода)

Из рис. 3 видно, что при задании станции ST5 статуса «исходный», ошибки в сети заметно уменьшаются, а эллипсы принимают округлую форму. Сравнение координат с эталонными значениями показало, что все они получены практически безошибочно (разности координат Δx и Δy не превышают 1 мм). Такая сеть может применяться в дальнейшем для разбивочных работ или мониторинга деформаций строительных конструкций [17].

Заключение

Применение визирных целей в виде цилиндрических отвесов возможно при развитии внутрицеховых сетей, предназначенных для контрольных съемок строительных конструкций (СКО положения пунктов сети до 5 мм). Использование отвесов наиболее актуально при развитии геодезической основы в вытянутых производственных цехах, загроможденных оборудованием или материалами. Применение отвесов позволяет исключить ошибки измерения расстояний в безотражательном режиме, которые имеют место быть при отклонении визирного луча от нормали к поверхности отражения более 30° .

Для обеспечения высокой точности создания внутрицеховой сети необходимо повышать ее жесткость путем выполнения избыточных измерений. Рассмотренная в исследовании цепочка из обратных засечек не является надежным построением из-за больших погрешностей ориентирования тахеометра на каждой станции, что приводит к быстрому накоплению ошибок. Рекомендуется не использовать бесконтрольные висячие построения, опирающиеся на исходные пункты только с одной стороны. При крайней необходимости в висячих построениях следует ограничивать число станций тахеометра (не более двух).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 317.1325800.2017 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ». – М. : Стандартинформ, 2018. – 43 с.
2. Никонов А. В., Мурзинцев П. П. Определение деформаций каркаса главного корпуса ГРЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 10–16.
3. Никонов А. В. Определение геометрических параметров путей мостовых кранов промышленных предприятий координатным методом // Геодезия и картография. – 2024. – № 12. – С. 35–45. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1014-12-35-45
4. Сундаков Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Недра, 1980. – 343 с.
5. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Сотников А. Л., Фролов И. С., Кужненко Е. Е. Геодезическое обеспечение высокоточного монтажа и выверки технологического оборудования // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2011. – № 2. – С. 34–45.
6. Геодезическое обеспечение эксплуатации промышленных предприятий / В. Б. Жарников, Б. Н. Дьяков, Б. Н. Жуков и др. – М.: Недра, 1992. – 160 с.
7. Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. – М.: Недра, 1981. – 438 с.
8. ГОСТ Р 58941–2020 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения. М: Стандартинформ, 2020. – 16 с.

9. Никонов А. В., Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Особенности выполнения высокоточного нивелирования при наличии направленных конвекционных потоков воздуха // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 24–30. DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-24-30
10. Измерительный комплекс «Визир 3D» на предприятиях Украины: геодезический контроль и выверка технологического оборудования / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, В. Н. Ревуцкий, В. А. Пригаров // Геопрофиль. – 2009. – № 3 (6). – С. 12–19.
11. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 132–143.
12. О геодезическом обеспечении создания комплекса «Скиф» / А. В. Полянский, В. С. Крапивин, Д. Б. Буренков, Е. С. Вонда, Л. Е. Сердаков // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 67–76. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-67-76
13. 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.
14. Палкин П. О. Геодезическое обеспечение контроля геометрических параметров изделий авиастроения с применением прецизионных координатных систем: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Новосибирск, 2025. – 24 с.
15. Назаров И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 2 (16). URL: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=548>
16. Анализ технологических схем создания геодезического обоснования на промплощадке / Г. А. Уставич, А. Г. Неволин, В. А. Падве, В. Г. Сальников, А. В. Никонов // Записки Горного института. 2021. Т. 249. – С. 366–376. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.5
17. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 45–59.

© А. В. Никонов, 2025

И. В. Павлов¹✉

Алгоритм обработки определения вертикальных отклонений стенок стальных резервуаров в зависимости от уровня заполнения нефтепродуктами

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

Аннотация. Большинство товарных парков на нефтегазовых месторождениях Крайнего Севера находятся в эксплуатации двадцать и более лет. Основу товарных парков составляют вертикальные стальные резервуары, служащие для хранения нефтепродуктов. Геодезический мониторинг данных инженерных сооружений является обязательным и способствует обеспечению их безопасной эксплуатации. Разработанный алгоритм анализа геодезических измерений в полевых условиях позволяет определить деформации вертикальных швов резервуаров с учетом их полного или частичного заполнения. При этом используется классический метод электронной тахеометрии, производится расчет деформационных отклонений резервуара, информация о проблемных швах определяется непосредственно на объекте. Особенность разработанного алгоритма заключается в возможности быстрой адаптации для других инженерных сооружений, например, объектов энергетики и градостроительства. Практическое использование разработанного алгоритма на объектах «Белоруснефть» на Ямале подтвердило актуальность и важность интеграции современных технологий в область геодезического мониторинга.

Ключевые слова: резервуар вертикально стальной, вертикально-образующая стенка, тахеометр, мониторинг технического состояния, алгоритм обработки, деформация

I. V. Pavlov¹✉

An algorithm for processing the determination of vertical deviations of the walls of steel tanks depending on the level of filling with petroleum products

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

Abstract. Most of the product parks in the oil and gas fields of the Far North have been in operation for twenty years or more. The basis of the product parks are vertical steel tanks used for storing petroleum products. Geodetic monitoring of these engineering structures is mandatory and helps to ensure their safe operation. The developed algorithm for analyzing geodetic measurements in the field makes it possible to determine the deformations of vertical seams of reservoirs, taking into account their full or partial filling. In this case, the classical method of electronic total station is used, the deformation deviations of the tank are calculated, and information about problematic seams is determined directly at the facility. A special feature of the developed algorithm is the ability to quickly adapt to other engineering structures, for example, energy and urban development facilities. The practical use of the developed algorithm at «Belorusneft» facilities in Yamal has confirmed the relevance and importance of integrating modern technologies into the field of geodetic monitoring.

Keywords: vertical steel tank, vertical forming wall, total station, technical condition monitoring, processing algorithm, deformation

Введение

Резервуары вертикально стальные (РВС) в зависимости от проектируемого объема, степени заполнения, места заложения фундамента под резервуар подразделяют на несколько классов :

- 1 класс КС-3а (РВС объемом более 50 000 м³);
- 2 класс КС-3б (РВС объемом 20 000 – 50 000 м³ включительно, а также резервуары объемом 10 000 – 50 000 м³ (включительно, расположенные непосредственно по берегам рек, крупных водоёмов и в черте городской застройки);
- 3 класс КС-2а (РВС объемом более 1 000 м³, но менее 20 000 м³);
- 4 класс КС-2б (РВС менее 1000 м³) [1].

Экологическая и техносферная безопасность вертикально-стальных резервуаров, наполненных нефтяными продуктами, подразделяются по трем основным классам:

- особо опасные;
- повышенной опасности;
- опасные.

Резервуары нефтяной компании ООО «Белоруснефть-Сибирь» относятся к 3 классу (КС-2а) и располагаются в зоне повышенной опасности на болотистой местности Крайнего Севера (ЯНАО) в условиях экстремальных температурных перепадов (от 30 °С до минус 40 °С) [2].

Цель статьи заключается в разработке алгоритма для оценки деформации вертикально образующих стенок резервуаров в зависимости от уровня заполнения, сравнения с предельно допустимыми значениями крена каждого шва, выявления пригодности дальнейшего использования резервуаров, а при необходимости, установки дополнительных ребер жесткости.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать алгоритм в программном продукте Excel, позволяющий непосредственно в полевых условиях произвести обработку геодезических данных и выдать рекомендации по дальнейшей эксплуатации или производству ремонтных работ;
- исследовать эффективность разработанного алгоритма и выполнить его апробацию на товарном парке «Белоруснефть» в местах Крайнего Севера.

Методы и материалы

Проверка геометрической формы и вертикальности стенки проводилась согласно приказу от 23 августа 2023 г. N 305 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, исходя из которого учитывался обязательный учет уровня заполнения РВС нефтепродуктом [3].

Для производства геодезических измерений на объектах «Белоруснефть» применялся метод тахеометрической съемки. В качестве технологического оборудования использовались: электронный тахеометр Trimble C5 и светоотражаю-

щие марки, которые были заранее закреплены на стенках резервуаров в пределах 50 мм от пересечения швов.

Для выявления действительной геометрической формы резервуара измерялась величина отклонения вертикали образующей стенки на уровне верха каждого пояса на расстоянии до 50 мм от верхнего горизонтального шва пояса и не реже, чем через 6 м по окружности резервуара.

При использовании метода мониторинга с применением тахеометра количество точек съемочной сети равнялось количеству вертикальных швов. Был обязательно учтен фактор, что точки съемочной сети должны были располагаться строго в створе измеряемого шва. Принцип выполнения работ показан на рис 1.

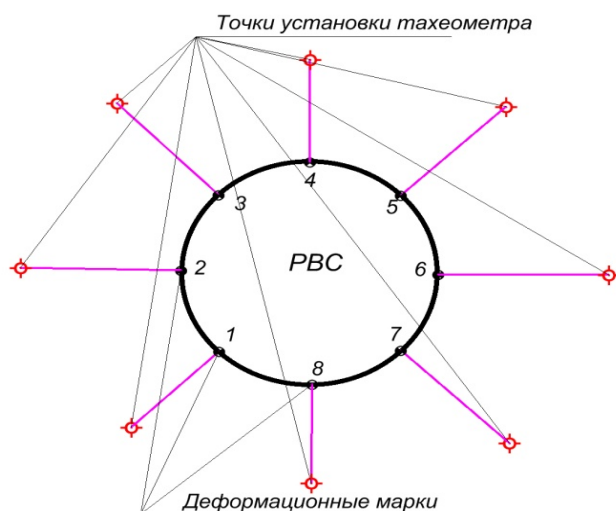


Рис. 1. Схема установки тахеометра при мониторинге РВС

Уровень заполнения резервуаров был различен. Высота нефтепродукта в РВС №4 составила 992 см, в РВС №3 – 0 см.

Схема измерений расстояний показана на рис. 2.

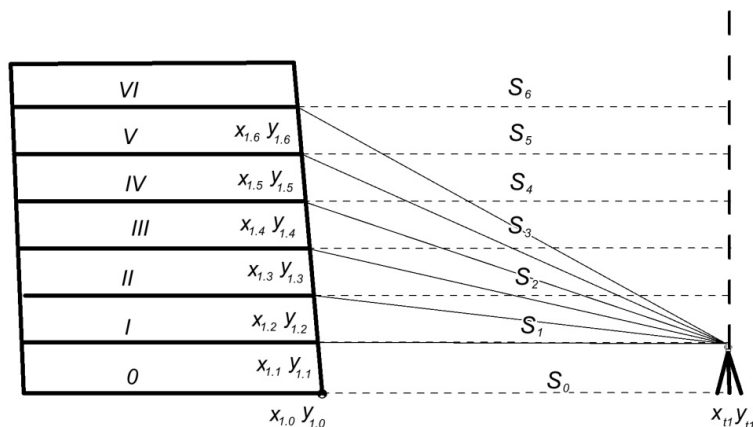


Рис. 2. Схема выполнения тахеометрической съемки РВС

В программном продукте Excel была создана таблица, заполненная формулами для расчета вертикальности образующих стенок, учитывающими допустимые значения высоты швов.

$$S (\text{откл}) = S (\text{г. ш.}) - S (0) \leq f (\text{г. ш.}), \quad (1)$$

$$S (\text{откл}) = S (\text{г. ш.}) - S (0) \geq f (\text{г. ш.}), \quad (2)$$

где $S (\text{откл})$ – отклонение от вертикальности;

г. ш. – горизонтальный шов каждого уровня высоты;

$S (0)$ – горизонтальное проложение до окрайки днища РВС.

Также в программном продукте Excel было составлено правило условного форматирования, рассчитывающие допустимое отклонение от вычисленного значения. Исходя из этого, ячейка значения, превышающего допуск на заданный по высоте шов, автоматически окрашивается в красный цвет (рис. 3).

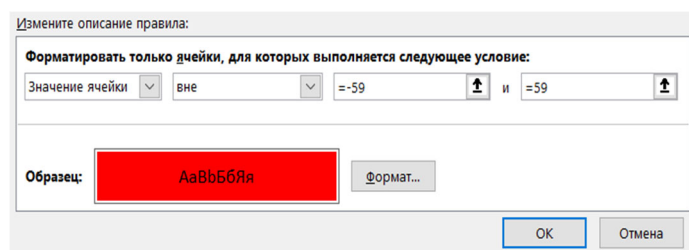


Рис. 3. Создание описания правила для форматирования ячейки

Правило форматирования ячейки было разработано отдельно для каждой высоты сварочного шва. Это обусловлено тем, что, согласно нормативным документам, допуск зависит непосредственно от высоты расположения шва относительно сварного соединения стенки и окрайки днища.

В диспетчере «условного форматирования», правила специально прописали по два раза для каждой ячейки. В результате, обработка геодезических измерений представляется не только в цифровом виде, но и становится интуитивно понятной, так как ячейка окрашивается в один из двух цветов в зависимости от вычисленного значения. Красный цвет показывает превышение допустимых значений, зеленый их отсутствие. Фрагмент представлен на рис. 4.

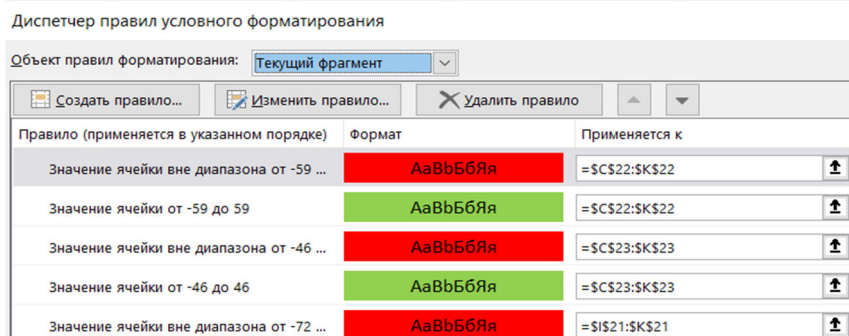


Рис. 4. Диспетчер правил форматирования

Согласно РД 39-117-91 уровень заполнения РВС нефтепродуктами оказывает существенное влияние на вертикальность и крен резервуара. При изменении наполняемости нефтепродуктами происходит существенное перераспределение нагрузки на вертикальные стенки РВС. На верхних поясах высотой более 10 метров наблюдается характер крена всей конструкции [4].

Исходя из этого, в созданном алгоритме определения отклонений вертикальных стенок уровень заполнения был обязательно учтен.

Заключительным этапом создания алгоритма обработки и расчета данных являлась реализация аннотационного всплывающего окна для специалиста, производившего мониторинг.

Краткие рекомендации к дальнейшим действиям позволяют быстро и качественно начать работы по устранению выпучивания и крена резервуара. Всплывающее аннотационное окно показано на рис. 5.

Заполненный РВС

Расчет вертикальности образующей стенки.									
Горизонтальные швы	Высота м.	Вертикальные швы.							
		ДМ59	ДМ60	ДМ61	ДМ62	ДМ63	ДМ64	ДМ65	
8	11,92	15	19	88	144	-67	-73	-59	
7	10,43	11	10	74	12			48	
6	8,94	19	4	55	15	Обнаружена деформация Необходимо передать данные главному инженеру и принять меры по устранению деформационного отклонения РВС, путем установления ребр жесткости и подпорных стоек			
5	7,45	17	17	23	9				
4	5,96	11	23	42	4				
3	4,47	14	0	4	6				
2	2,98	10	11	22	5				
1	1,49	11	7	19	4			13	
0	0	0	0	0	0			0	
Заключение: Отклонения образующей стенки превышают допустимые значения									
- Значение превышающее допуск.									

Рис. 5. Аннотационное всплывающее окно

Результаты

Особенность разработанного алгоритма заключается в том, что при различной заполняемости необходимо использовать разные таблицы с допусками (для полного либо частичного заполнения резервуара и для неполного или нулевого его заполнения) [5]. В программном продукте Excel были заданы для удобства восприятия цветовой индикатор получившегося значения. Зеленым цветом отмечены значения, входящие в допуск по отклонению, красным – превышающие допуск.

На рис. 6 и рис. 7 приведены результаты.

Заполненный РВС

Расчет вертикальности образующей стенки.											
Горизонтальные швы	Высота м.	Вертикальные швы.									Допуск мм.
		ДМ59	ДМ60	ДМ61	ДМ62	ДМ63	ДМ64	ДМ65	ДМ66	ДМ67	
8	11,92	15	19	88	144	-67	-73	-59	-41	-128	109
7	10,43	11	10	74	122	-14	-62	-48	-32	-105	99
6	8,94	19	4	55	155	-17	-86	-38	-23	-103	89
5	7,45	17	17	23	99	6	-73	-35	-23	-83	79
4	5,96	11	23	42	42	12	-28	-38	-16	-62	69
3	4,47	14	0	4	86	16	-16	-18	-12	-61	49
2	2,98	10	11	22	56	13	-9	-13	-8	-48	39
1	1,49	11	7	19	40	16	-11	-13	-5	-31	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Заключение: Отклонения образующей стенки превышают допустимые значения.											

Рис. 6. Результаты наблюдения отклонений заполненного РВС №4 на 07.24

пустой РВС											
Расчет вертикальности образующей стенки.											
Горизонтальные швы	Высота м.	Вертикальные швы.									Допуск мм.
		ДМ59	ДМ60	ДМ61	ДМ62	ДМ63	ДМ64	ДМ65	ДМ66	ДМ67	
8	11,92	9	19	14	107	-23	-62	-59	-41	-7	91
7	10,43	15	10	18	100	-14	-62	-48	-32	-6	85
6	8,94	19	4	12	98	-17	-54	-38	-23	-3	78
5	7,45	16	7	10	76	6	-41	-35	-23	-3	72
4	5,96	19	5	8	41	12	-28	-27	-16	-2	59
3	4,47	13	0	4	48	16	-16	-18	-12	-2	46
2	2,98	12	1	5	28	13	-9	-13	-8	-4	33
1	1,49	9	-1	5	30	12	-5	-10	-8	-3	20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Заключение: Отклонения образующей стенки превышают допустимые значения.											

Рис. 7. Результаты наблюдения отклонений пустого РВС №4 на 07.24

Тем самым, исходя из года монтажа РВС (его активная эксплуатация производится более 15 лет), анализ данных показал, что главное влияние на деформацию вертикальности образующих стенок оказывают внешние факторы: экстремальные перепады температур, характерные для регионов Крайнего Севера, годовое количество циклов заполнения нефтепродуктами, осадочные грунты с частичными или сплошными многолетнемерзлыми породами, в том числе, с буграми пучения

На рис. 8 представлено выпучивание первого горизонтального шва 10,5 мм на высоте 1,49 метра, находящегося вне допустимого значения вертикально-образующей стенки.



Рис. 8. Выпучивание вертикально-образующей стенки РВС №4

В качестве рекомендаций по устранению дефектов вертикальности и выпучивания РВС можно предложить следующие:

- укрепление стенок дополнительными ребрами жесткости и установление подпорных стоек, которые в свою очередь обеспечат прочность и устойчивость ёмкости, а также для предотвращения дальнейшего крена [5];
- при невозможности наваривания дополнительных элементов либо их неэффективности следует применить демонтаж проблемных металлических листов на участках, превышающих допустимое отклонение вертикальности и выпучивания РВС [6];
- по завершении технических работ следует произвести повторные гидравлические испытания с параллельным геодезическим мониторингом контроля вертикальности, выпучивания и технологической эксплуатации РВС [7].

Заключение

В рамках проводимого исследования по мониторингу отклонений было обследовано 6 вертикально-стальных резервуаров компании ООО «Белоруснефть-Сибирь».

На данном товарном парке, в Ямало-Ненецком автономном округе, успешно реализована программа мониторинга вертикально-образующих стенок РВС при полном либо частичном заполнении нефтепродуктами.

Разработан алгоритм действий и расчетов в программном продукте Excel, реализованный в качестве автоматического вычисления данных и их выводе в информативно-понятном виде, включающий в себя всплывающие аннотационные окна с рекомендациями в случае отклонения от вертикальности.

Данное исследование позволило сделать выводы и разработать рекомендации об оценке состояния резервуаров и о мерах их пригодности для эксплуатации.

Технологический процесс геодезического мониторинга РВС является одним из основополагающих критериев успешного хранения, переработки и транспортировки нефтепродуктов в рамках соблюдения техносферной безопасности.

Предлагаемый алгоритм мониторинга позволит сократить время, трудозатраты и сметную стоимость на производство работ путем внедрения расчетов и оптимизации обработки данных на программном комплексе, применяемом как в полевых, так и в камеральных условиях.

Разработанный алгоритм может быть актуальным и в градостроительной деятельности, и в сфере энергетики – обследования ЛЭП и дымовых труб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология геодезического обследования стальных вертикальных резервуаров. ТД 23-115-96 / Утв. 29.01.07 АК Транснефтепродукт.
2. Инструкция по маркшейдерским и топографо-геодезическим работам в нефтяной и газовой промышленности. РД 39-117-91 / Утв. 06.31.91 МНиГ пром. СС.
3. Кашников, Ю. А. Маркшейдерское обеспечение разработки месторождений нефти и газа / Ю. А. Кашников, К. В. Беляев, Е. С. Богданец, А.А Согорин : монография. – Москва : Недра, 2018. – 454 с.
4. Буренков, Д. Б. Моделирование инженерных объектов и оценка точности в геоинформационном пространстве / Д. Б. Буренков, П. П. Мурзинцев, А. В. Полянский, Ю. А. Пупков, Л.

Е. Сердаков – Текст : непосредственный / МГАСУ. – 2006. – 99 с.

5. Кемербаев, Н. Т. Геодезическая информация в системе автоматизированного технического обеспечения и ремонтов / Н. Т. Кемербаев. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 27–36. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-27-36

6. Шоломицкий, А. А. Алгоритм определения оседаний днища вертикального стального резервуара по облаку точек лазерных отражений / А. А. Шоломицкий, Н. Т. Кемербаев. – Текст : непосредственный // Маркшейдерия и недропользование. – Март – апрель 2022. – № 2 (118). – С. 33–36.

7. Шинкарев, Б. М. Меры борьбы с выпучиванием концов стыковых швов при автоматической сварке полотнищ / Б. М. Шинкарев. - Текст : непосредственный // Автоматическая сварка. – 1951. – № 6. – С. 78-84.

© И. В. Павлов, 2025

И. В. Павлов¹✉, В. И. Сергунцов¹

Методика создания обмерных чертежей объектов культурного наследия по данным наземного лазерного сканирования

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

Аннотация. Наземное лазерное сканирование является одним из методов геодезической съемки, который применяется для создания обмерных чертежей зданий и их 3D моделей как в строительстве, так и архитектуре. Среди таких зданий особый интерес представляют уникальные строительные сооружения (объекты культурного наследия). Наземное лазерное сканирование позволяет выполнить детализированную съемку многочисленных элементов объектов культурного наследия с высокой точностью и за короткий временной интервал. Обработка данных лазерного сканирования, как правило, выполняется в специализированных программных комплексах. Ее результатом является облако точек, которое далее может быть использовано в системах автоматизированного проектирования для создания обмерных чертежей. В последнее время в подобные системы начинают добавлять инструментарий, позволяющий отказаться от специализированных программ по первичной обработке данных лазерного сканирования. Среди таких систем можно выделить NanoCAD, для которого разрабатываются отдельные программные модули. Это приводит к необходимости совершенствования существующих методик создания обмерных чертежей. В статье предлагается соответствующая методика и выполнена ее апробация на примере данных лазерного сканирования, полученных для объекта культурного наследия – стоквартирного дома, расположенного в г. Новосибирск.

Ключевые слова: Наземное лазерное сканирование, облако точек, уравнивание, САПР, обмерный чертеж

I. V. Pavlov¹✉, V. I. Serguncov¹

The technique for creating dimensional drawings of cultural heritage objects based on the terrestrial laser scanning data

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

Abstract. Terrestrial laser scanning is one of the surveying survey methods that can be used for creating dimensional drawings and 3D models in both construction and architecture. Unique constructions (cultural heritage objects) are of particular interest among such buildings. Terrestrial laser scanning allows carrying out the detailed survey of cultural heritage object numerous elements with high accuracy and in a short time interval. Laser scanning data processing is usually performed in specialized software. Point cloud is the result of processing which can be used in computer-aided design systems for creating dimensional drawings. Recently, special tools have been added to such systems to eliminate specialized software for the primary processing of laser scanning data. NanoCAD can be distinguished among such systems, for which individual software modules are being developed. This leads to the need to improve existing techniques for creating dimensional drawings. The appropriate technique is proposed. It tested for laser scanning data obtained for the cultural heritage object – an apartment building located in Novosibirsk.

Keywords: Terrestrial laser scanning, point cloud, registration, CAD, dimensional drawing

Введение

Для создания обмерных чертежей необходимы данные, которые можно получить с помощью различных методов съемки. Лазерное сканирование является одним из них. Для создания обмерных чертежей фасадов зданий применяются системы автоматизированного проектирования (САПР), одной из которых является отечественный продукт NanoCAD. NanoCAD включает различные инструменты, позволяющие упростить процесс векторизации и выполнить оформление чертежей по специальным стандартам.

Для программного продукта NanoCAD разрабатываются различные дополнительные модули. Модуль ReClouds ориентирован на обработку массива точек лазерного сканирования и решение инженерно-информационных задач в геодезической и строительной отраслях. Он позволяет обрабатывать результаты полевых измерений, выполненных с помощью лазерного сканирования, а именно, уравнивать сканы, выполнять фильтрацию и классификацию облаков точек, выполнять распознавание векторных элементов, оценивать величины деформаций [1].

Таким образом, сочетание NanoCAD и его модуля ReClouds позволяет в единой программной среде выполнить построение обмерных чертежей по данным лазерного сканирования. Для ускорения этого процесса необходимо выполнять разработку соответствующих методик.

Методы и материалы

Методика обработки данных наземного лазерного сканирования (НЛС) с целью создания обмерных чертежей в NanoCAD заключается в следующем:

- получение полевых данных и импорт их в платформу NanoCAD;
- регистрация сканов с помощью Reclouds;
- выбор плоскостей для созданий чертежей;
- создание сечения плоскости;
- векторизация объектов сечения;
- оформление обмерного чертежа.

Для апробации методики был выбран уникальный архитектурный объект, а именно, памятник культуры федерального значения – сто-квартирный дом на площади Свердлова в городе Новосибирск (рисунок 1). Здание имеет сложный архитектурный дизайн: обширные, тяжелые колоннады и выступающие из плоскости здания углы, реализованные в виде эркер-фасада.

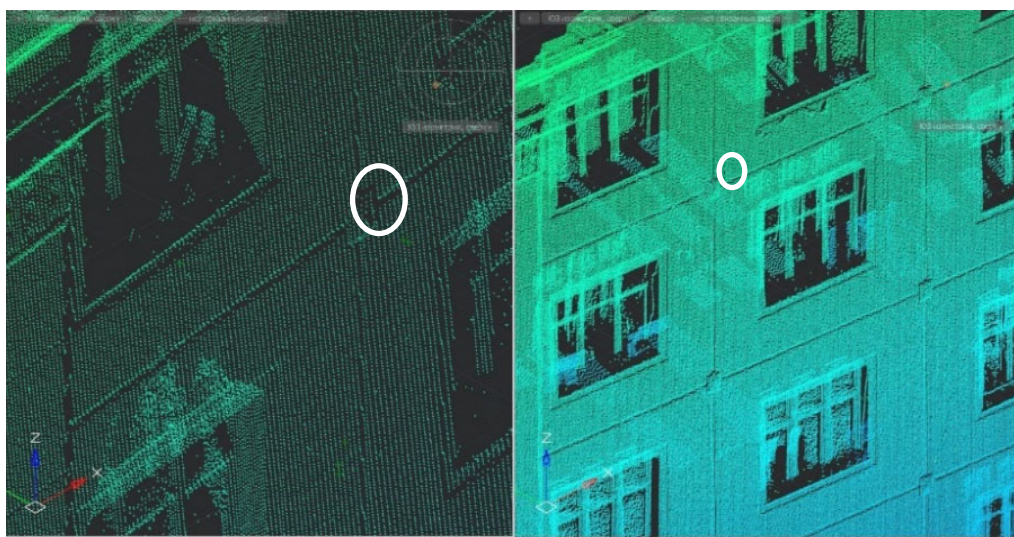
Геодезические работы были выполнены научным руководителем наземным лазерным сканером Riegl VZ – 2000i, который разработан на основе новой инновационной архитектуры обработки данных. Архитектура обработки данных позволяет выполнять различные задачи в фоновом режиме, такие как регистрация облака точек, гео-привязка, позиционирование с помощью встроенной инерциальной системы, параллельно выполняя сбор данных сканирования. Уникальная технология Riegl по оцифровке сигнала обеспечивает выполнение измерений

больших расстояний с высокой скоростью, точностью даже при неблагоприятных погодных условиях.



Рис. 1. Стоквартирный дом на площади Свердлова

После импорта данных наземного лазерного сканирования в программе ReClouds была произведена регистрация облаков точек [2]. Регистрация сканов производилась с помощью набора соответствующих точек. При использовании инструмента сегментации и классификации дополнительно были выделены группы объектов с похожими характеристиками, которые помогли выполнить уравнивание сканов с более высокой точностью (рисунок 2).



○ – одинаковые объекты на паре сканов

Рис. 2. Выбор схожих элементов на паре сканов

При регистрации один из сканов выбирался за исходный, остальные сканы привязывались к исходному. После набора соответственных точек между всеми

парами сканов выполнялось автоматическое более точное уравнивание с помощью встроенного в ReClouds алгоритма. На рисунке 3 показан пример результата оценки точности уравнивания пары сканов. Строка, отмеченная красным цветом, означает пару соответственных точек, идентифицированных в облаке точек с наименьшей точностью [3].

Регистрация точек				
Имя точки	X	Y	Z	Имя точки
Точка 1	1558519.4818	839335.8792	17233.6476	Точка 1
Точка 2	1558646.823	839374.2823	13771.2308	Точка 2
Точка 5	1550222.5573	838135.2095	24338.6791	Точка 5
Точка 6	1550650.4365	838609.6018	30453.0291	Точка 6
Точка 7	1551265.8937	838816.2646	28255.734	Точка 7
Точка 8	1547853.6439	840418.854	22998.4075	Точка 8

Рис. 3. Оценка точность уравнивания сканов

На рисунке 4 продемонстрировано местоположение пар соответствующих точек уравнивания сканов.



Рис. 4. Процесс регистрации пары сканов

На рисунке 5 представлен фрагмент результата уравнивания, который можно было использовать для создания обмерных чертежей фасада здания.

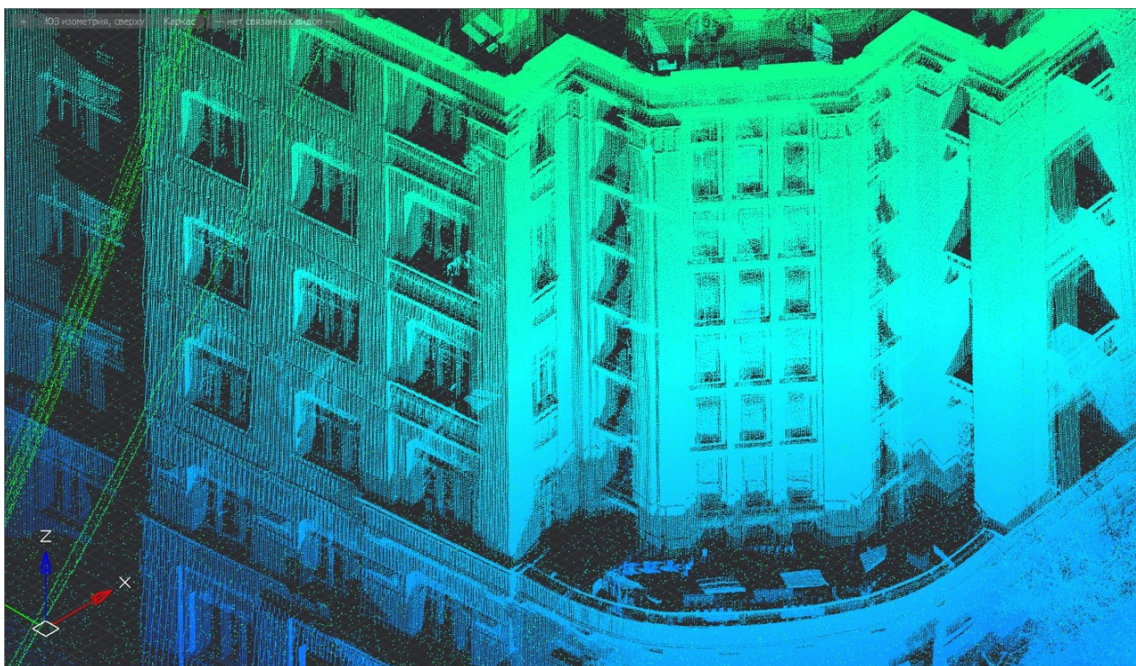


Рис. 5. Сшитое облако точек в единую модель

Результаты

Высокая плотность данных лазерного сканирования позволила создать объемный чертеж фасада здания с точностью до 1 см [4].

На рисунке 5 представлен процесс векторизации коллонады и фасада здания.



Рис. 6. Векторизованный фасад здания

Размеры на чертеже фасада здания наносились с точностью до 1 мм. Рисунок 6 показывает только отдельно нанесенные размеры.

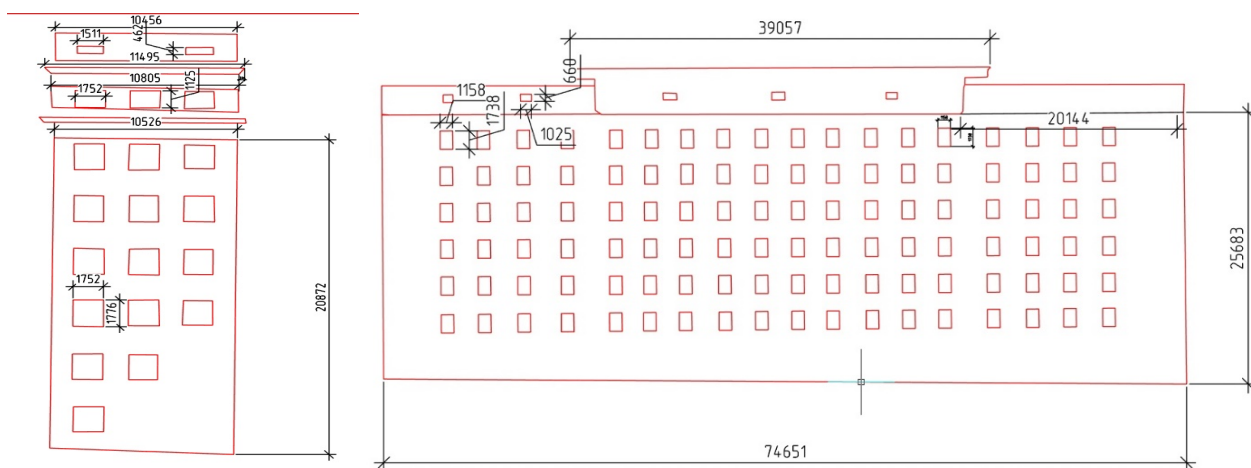


Рис. 6. Чертеж с обмерными части стоквартирного дома

Еще один пример, для колонны, показан на рисунке 7.

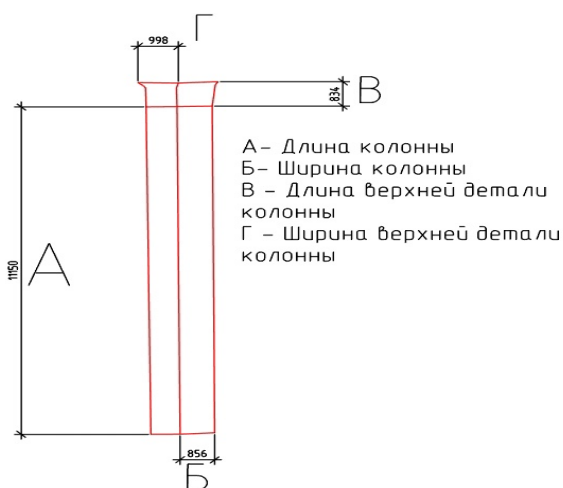


Рис. 7. Чертеж колонны с обмерными размерами

Заключение

Проведя пошаговый процесс обработки данных лазерного сканирования в NanoCAD и, в частности, в ReClouds, и построение обмерного чертежа можно сделать вывод о больших шагах развития российской цифровой платформы [5].

Была рассмотрена методика обмерного чертежа фасада здания с использованием данного программного обеспечения на примере уникального архитектурного сооружения. Программный комплекс NanoCAD продемонстрировал свою эффективность в создании детализированных чертежей уникальных архитектурных объектов. Благодаря встроенным в программное обеспечение алгоритмам сегментации, классификации и уравнивания данных лазерного сканирования, а также инструментам черчения, были созданы обмерные чертежи одного из уникальных объектов – стоквартирного дома, находящегося в центре г. Новосибирска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 121–139. Маркшейдерское обеспечение разработки месторождений нефти и газа / Ю. А. Кашников, К. В. Беляев, Е. С. Богданец, А. А. Согорин : монография. – Москва : Недра, 2018. – 454 с.
2. Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Метод активного дистанционного зондирования: лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 254 с.
3. Кемербаев, Н. Т. Геодезическая информация в системе автоматизированного технического обеспечения и ремонтов / Н. Т. Кемербаев. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 27–36. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-27-36
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. Levinson J., Montemerlo M., Thrun S. Map-Based Precision Vehicle Localization in Urban Environments // Conference: Robotics: Science and Systems III (June 27-30). – Atlanta, Georgia, USA Georgia Institute of Technology, 2007. doi:10.15607/RSS.2007.III.016.

© И. В. Павлов, В. И. Сергунцов, 2025

В. Е. Терещенко¹✉, В. А. Машинец¹, Э. Э. Банищикова¹

Определение координат недоступной точки с помощью тахеометра и отражателя методом аппроксимации шара

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

Аннотация. В статье представляется метод определения координат точки с помощью электронного тахеометра и геодезического отражателя на вехе. При этом веха на точке располагается не в вертикальном положении, как это требуется при классической передаче координат с точки стояния тахеометра, а в наклонном положении, которое вызвано отсутствием прямой видимости вследствие наличия препятствий между тахеометром и отражателем. Наклоны вехи с отражателем с фиксацией ее острия на определяемой точке формируют поверхность полусферы. При наличии измерений до нескольких точек, описывающих поверхность полусферы, можно составить уравнение сферы, а затем математически вычислить координаты ее центра. Они будут являться координатами определяемой точки, прямая видимость до которой ограничена препятствием. В результате исследования сформирована программа, которая принимает в качестве исходных данных координаты точек на поверхности полусферы, проводит обработку и, если поступившие данные имеют удовлетворительную геометрию, происходит вычисление координат точки. Данный метод определения координат реализован с помощью современного языка программирования Python, с помощью которого вычислительный процесс максимально автоматизирован. В статье приведены примеры работы программы на реальных измерениях. Отклонения от истинных значений не превышают погрешность центрирования прибора в совокупности с погрешностью удержания вехи в наклонном положении над точкой.

Ключевые слова: электронный тахеометр, призмный отражатель, аппроксимация шара, Python, геодезия

V. E. Tereshchenko¹✉, V. A. Mashinec¹, E. E. Banshchikova¹

Coordinates calculating of an unobtainable point with a tacheometer-reflector system using the sphere approximation method

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

Abstract. The article provides an overview of the method for determining the coordinates of a point using an electronic tacheometer and a geodetic reflector on a pole. In this case, the pole on the point is not located in a vertical position, as is required for the classical transfer of coordinates from the point where the tacheometer is located, but in an inclined position, which is caused by the impossibility of maintaining direct visibility due to the presence of obstacles between the tacheometer and the reflector. The tilts of the pole with the reflector with its tip fixed on the point being determined form the surface of a hemisphere. If there are measurements of several points describing the surface of the hemisphere, it is possible to create an equation of the sphere, and then mathematically calculate the coordinates of its center. They will be the coordinates of the point being determined, the direct visibility to which is limited by an obstacle. As a result of the study, a program was created that accepts the coordinates of points on the surface of the hemisphere as initial data, performs processing

and, if the received data have satisfactory geometry, the coordinates of the point are calculated. This method of determining coordinates is implemented using the modern Python programming language, with the help of which the computational process is maximally automated. The article provides examples of the program's operation on real measurements. Deviations from the true values do not exceed the error in centering the device together with the error in holding the pole in an inclined position above the point.

Keywords: electronic tacheometer, prism reflector, sphere approximation, Python, geodesy

Введение

В геодезии, строительстве и мониторинге инженерных сооружений часто возникают ситуации, когда необходимо определить координаты точки, которая физически недоступна для прямых измерений тахеометром (например, точка закрыта стволом дерева, столбом или иным препятствием). Методы определения координат с помощью технологий ГНСС могут быть не доступны в закрытых помещениях или в условиях плотной застройки. Также может быть ключевым вопрос точности в сравнении с классическими методами «тахеометр-призма» [1, 2]. Именно для таких случаев может применяться метод аппроксимации шара. Вследствие приведенных выше факторов исследования в этом направлении выглядят актуальными.

Целью данного исследования является создание компьютерной программы для определения координат недоступной точки методом аппроксимации шара. Программа может быть загружена в тахеометры как одно из прикладных приложений для облегчения процесса производства геодезических работ. В соответствии с целью исследования необходимо решить следующие задачи:

- смоделировать данные в виртуальной среде для отладки алгоритмов вычисления;
- создать алгоритм вычисления центра сферы по известным точкам на ее поверхности;
- провести натурные испытания алгоритма на реальных измерениях с помощью тахеометра Leica TCR405 и комплектного отражателя;
- провести оценку точности полученных координат с помощью созданной программы, сравнив вычисленные результаты с эталонными;
- сделать выводы об изменении точности результатов вычислений при включении дополнительных данных, улучшающих геометрию.

Аппроксимация сферы

Аппроксимация шара – это математический метод определения центра сферы по набору точек, лежащих на её поверхности. Суть метода заключается в следующем:

- отражатель перемещается по поверхности воображаемой сферы с центром в недоступной точке, при этом радиус сферы равен высоте отражателя, а центр сферы находится ровно в точке определяемого пункта;
- электронным тахеометром измеряются направления и расстояния до отражателя в разных позициях, доступных при непосредственной видимости;

– сфера аппроксимируется, и её центр (искомая точка) вычисляется математически.

На рисунке 1 представлена схема, представляющая метод аппроксимации шара в плановом (плоском, вид сверху) положении.

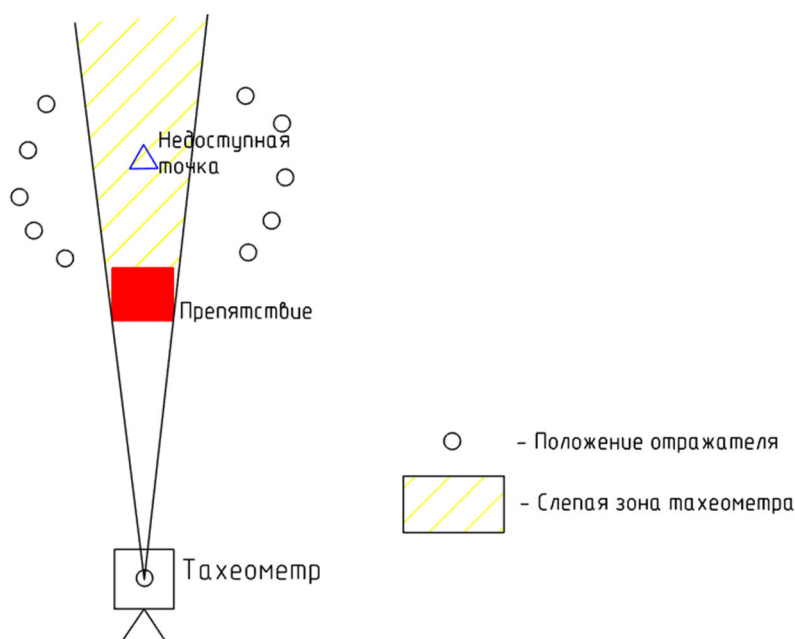


Рис. 1. Метод аппроксимации шара

Для составления программы использовался язык программирования Python и виртуальная среда разработки Visual Studio Code. Формулы для математических расчетов координат центра сферы по точкам на ее поверхности получены с помощью нейросети Deepseek. В промте дополнительно указывалось требование о выводе источников данных, откуда нейросеть брала информацию. В выводе результатов нейросеть указала работы авторов: Pratt V., Gander W., Lukács G., Ahn S., Hesse R., все на тему «подбор сфер методом наименьших квадратов» ссылки на источники приведены в [3-7]. Формулы из этих работ использованы в алгоритме программы:

$$a = \frac{1}{D} \cdot \begin{vmatrix} A & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ B & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ C & y_4 - y_1 & z_4 - z_1 \end{vmatrix},$$

$$b = \frac{1}{D} \cdot \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & A & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & B & z_3 - z_1 \\ x_4 - x_1 & C & z_4 - z_1 \end{vmatrix},$$

$$c = \frac{1}{D} \cdot \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & A \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & B \\ x_4 - x_1 & y_4 - y_1 & C \end{vmatrix},$$

где

$$D = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1)(z_4 - z_1) + (y_2 - y_1)(z_3 - z_1)(x_4 - x_1) + (z_2 - z_1)(x_3 - x_1)(y_4 - y_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)(x_4 - x_1)(z_4 - z_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)(y_4 - y_1),$$

а коэффициенты A, B, C :

$$A = \frac{x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 + z_2^2 - z_1^2}{2},$$

$$B = \frac{x_3^2 - x_1^2 + y_3^2 - y_1^2 + z_3^2 - z_1^2}{2},$$

$$C = \frac{x_4^2 - x_1^2 + y_4^2 - y_1^2 + z_4^2 - z_1^2}{2}.$$

при этом $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, x_3, y_3, z_3, x_4, y_4, z_4$ – координаты точек на поверхности аппроксимируемой сферы.

Моделирование данных в виртуальной среде

Для корректной работы программы, отладки алгоритмов, поиска багов и ошибок вычислений, смоделирован набор точек, лежащих на поверхности сферы, который имитировал результаты реальных измерений, но в виртуальной среде. Он получен с помощью сайта <https://www.geogebra.org> (рисунок 2). В виртуальной среде создана сфера радиусом 1.5 метра (приближенная к реальной высоте отражателя) и центром в начале координат. С помощью соответствующих инструментов на сайте расставлены 8 точек на поверхности сферы по 4 точки слева и справа от места наблюдения. Вблизи середины сферы точки не моделированы, так как в реальных условиях они скрыты за препятствием.

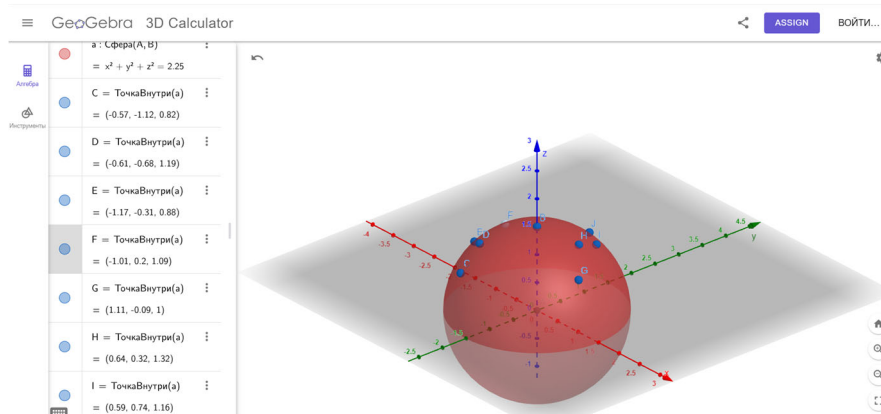


Рис. 2. Интерфейс сайта GeoGebra

На рисунке 3 приведен пример координат всех точек, собранных в текстовый файл в следующем формате: каждая строка соответствует номеру точки, в столбцах координаты X, Y и Z соответственно. Разделитель между целой и деся-

точной частью числа – точка. Разделителем между столбцами служит запятая с пробелом. В итоге именно в таком формате программа принимает измерения для вычисления координат недоступной точки.

Здесь и далее координатой Z является высотная компонента при определении центра шара. Она эквивалентна общепринятому обозначению высоты H, направлена в зенит, совпадает с отвесной линией в точке.

	X	Y	Z
	↓	↓	↓
Точка 1 →	299.870	200.565	101.502
Точка 2 →	300.291	199.522	101.508
Точка 3 →	299.600	199.527	101.483
Точка 4 →	299.879	199.625	101.562

Рисунок 3 – Формат записи данных в текстовый файл

Алгоритм программы

При реализации функции для аппроксимации шара использовалась библиотека Python – numpy, так как в ней реализованы инструменты для работы с матрицами в Python. Часть кода, содержащая функцию аппроксимации шара, представлена на рисунке 4.

```

def calc_sphere_center(points):
    """Вычисляет центр сферы по словарю с координатами точек, лежащих на этой сфере"""
    x1 = points['p1'][0]
    y1 = points['p1'][1]
    z1 = points['p1'][2]

    x2 = points['p2'][0]
    y2 = points['p2'][1]
    z2 = points['p2'][2]

    x3 = points['p3'][0]
    y3 = points['p3'][1]
    z3 = points['p3'][2]

    x4 = points['p4'][0]
    y4 = points['p4'][1]
    z4 = points['p4'][2]

    D = (x2 - x1)*(y3 - y1)*(z4 - z1)+(y2 - y1)*(z3 - z1)*(x4 - x1)+(z2 - z1)*(x3 - x1)*(y4 - y1)-(z2 - z1)*(y3 - y1)*(x4 - x1)-(y2 - y1)*(x3 - x1)
    A = (x2**2 - x1**2 + y2**2 - y1**2 + z2**2 - z1**2)/2
    B = (x3**2 - x1**2 + y3**2 - y1**2 + z3**2 - z1**2)/2
    C = (x4**2 - x1**2 + y4**2 - y1**2 + z4**2 - z1**2)/2

    matrix_for_a = np.array([[A, y2-y1, z2-z1],
                              [B, y3-y1, z3-z1],
                              [C, y4-y1, z4-z1]])
    matrix_for_b = np.array([[x2-x1, A, z2-z1],
                              [x3-x1, B, z3-z1],
                              [x4-x1, C, z4-z1]])
    matrix_for_c = np.array([[x2-x1, y2-y1, A],
                              [x3-x1, y3-y1, B],
                              [x4-x1, y4-y1, C]])

    a = 1/D*np.linalg.det(matrix_for_a)
  
```

Рис. 4. Фрагмент скриншота кода аппроксимации шара

Для обработки избыточных измерений (более 4 исходных точек), использована библиотека Python – itertools. Она позволяет создавать все возможные уникальные комбинации любого количества точек при обработке.

Алгоритм программы учитывает пространственное положение введенных точек и сразу отбрасывает комбинации, имеющие неудовлетворительную гео-

метрию. На рисунке 5 представлена блок-схема работы алгоритма отбраковки данных, представляющих не оптимальную геометрию.

Для оценки геометрии в программу добавлен коэффициент понижения точности DOP (с англ. Dilution of Precision – снижение точности), аналогичный тому, что используется при оценке геометрического фактора спутников ГНСС. В данном случае оценка коэффициента DOP упрощена, но смысл тот же. Коэффициент DOP обратно пропорционален площади четырехугольника, образованным любыми положениями отражателя в четырех точках. В ходе многократных изменений коэффициента установлено его предельное значение для положительного решения о включении четырехугольника в обработку. Он равен 2,5. На рисунке 6 приведены положения точек для вычисления по ним функции шара с «плохой» и «хорошей» геометрией.

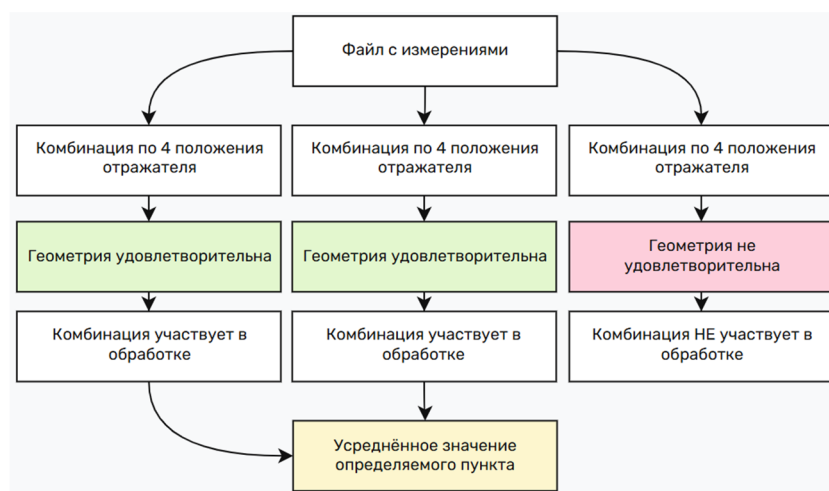


Рис. 5. Блок-схема алгоритма

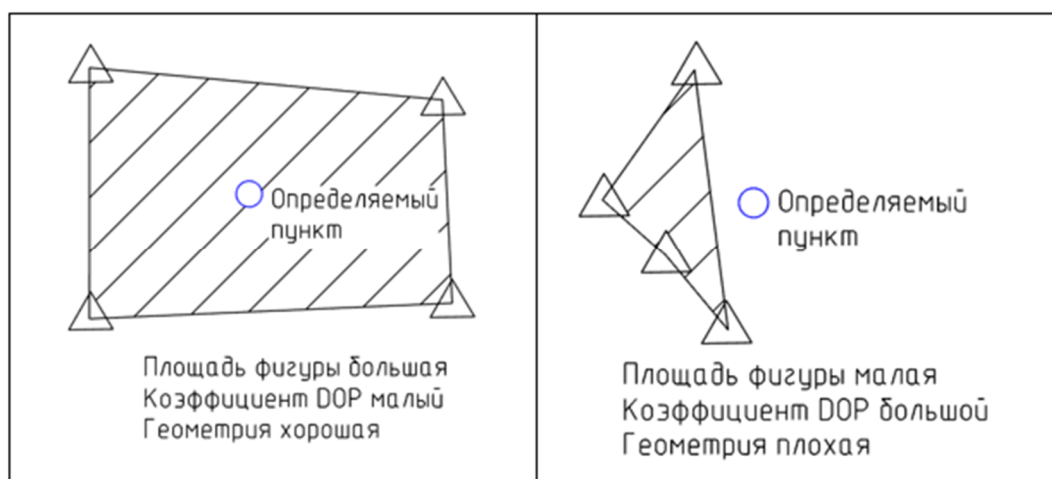


Рис. 6. Коэффициент DOP

При предварительном тестировании программы вертикальная координата Z вычислялась с относительно большой погрешностью – порядка нескольких сан-

тиметров. Такой результат был связан с плохой геометрией пунктов в вертикальной плоскости. Исключить эту проблему можно добавлением в программу функции для уточнения координаты Z. Для этого добавлено дополнительное поле ввода высоты отражателя, с которой проводилась съемка.

Теперь алгоритм работы программы выглядит иначе. После вычисления центра сферы заново перебираются все комбинации точек, вычисляются расстояния между полученным центром и положением зеркала отражателя, затем расстояния усредняются. Таким образом для каждой комбинации из четырех положений отражателя находится псевдо-длина отражателя. Находится разность между псевдо-длиной отражателя и действительной высотой отражателя, указанной пользователем. Далее эта разность учитывается как поправка в координату Z. Используя такой подход удалось повысить точность определения вертикальной компоненты в несколько раз.

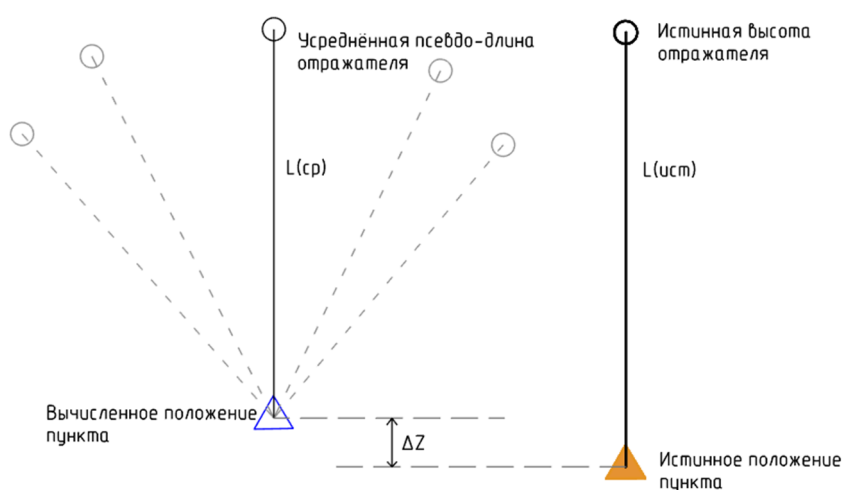


Рис. 7. Схема уточнения высотной компоненты

Для создания пользовательского интерфейса использовалась библиотека Python – tkinter. В результате создана программа в виде исполняемого файла с привычным интерфейсом. На рисунке 8 приведен скриншот запущенной программы.

Программа запускается и работает на любом ПК без установки Python. Файл с измерениями выбирается через встроенный проводник Windows после нажатия на кнопку «Открыть файл». Если известна высота отражателя ее можно указать в нижней части окна программы, после нажать «Установить высоту». После того, как все необходимые настройки указаны, кликнув кнопку «Вычислить центр» будет получен результат вычислений. Дополнительно в программу добавлен ручной ввод координат с возможностью сохранить их в файл поддерживаемого формата.

Добавлена функция интерактивной визуализации положения призмы отражателя и вычисленного пункта для анализа их взаимной геометрии. Для того чтобы открыть окно визуализации необходимо сначала провести вычисления в

программе, после нажать на кнопку «Визуализация». На рисунке 9 приведен фрагмент окна «Визуализация» программы.

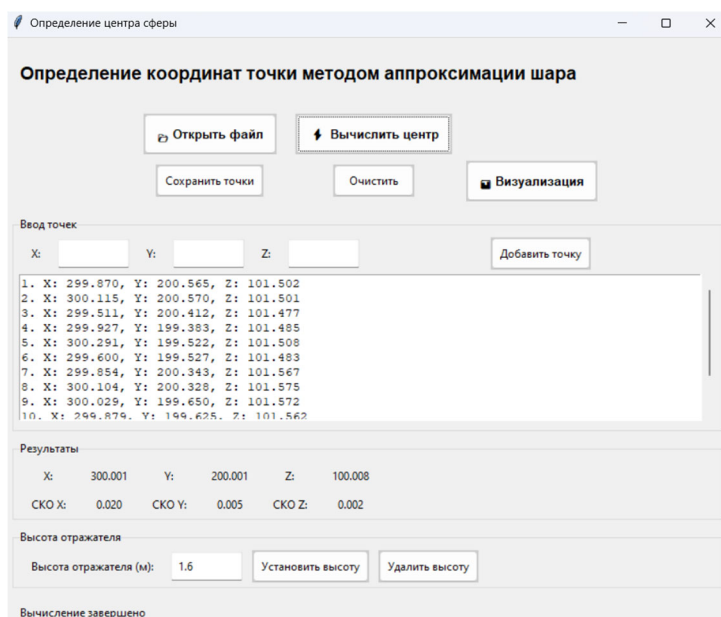


Рис. 8. Главное окно программы

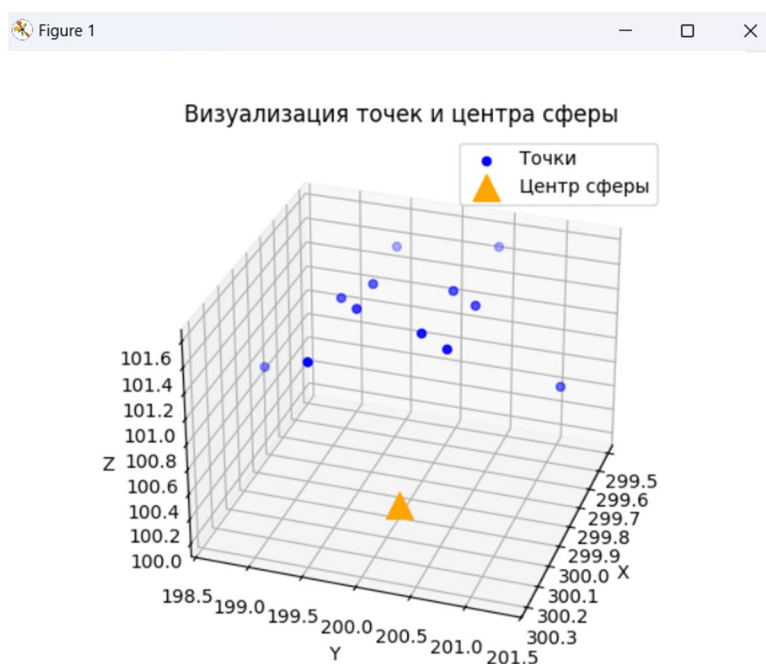


Рис. 9. Окно «Визуализация»

Важно указать, что при определении координат способом аппроксимации шара необходимо соблюсти следующие требования: в параметрах съемки тахеометра необходимо указать высоту отражателя равной нулю для того, чтобы получать координаты непосредственно самого зеркала отражателя, высота отражателя не должна изменяться в процессе съемки, конец вешки должен находиться в определяемом пункте.

Апробация программно-вычислительного комплекса

Работа программы апробирована на реальных измерениях. Оценка точности выполнялась путем сравнения истинных координат и вычисленных в сформированной программе. Истинные координаты определены тахеометром при закреплении условной системы координат. Вычисленные координаты определяемой точки получены основе реальных измерений с помощью тахеометра Leica TCR405 и комплектного отражателя на вехе. Тахеометр на штативе был установлен в аудитории Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ) на точке ТТ-1. В качестве недоступной точки выбрана точка ТТ-5 с координатами 300.000, 200.000 и 100.000 метров X, Y и Z соответственно.

Определено 10 положений отражателя: 5 слева и 5 справа от воображаемого препятствия. В эксперименте приняты 2 положения отражателя с большим углом наклона вехи и 8 измерений с малым, как показано на рисунке 10 (а, б).

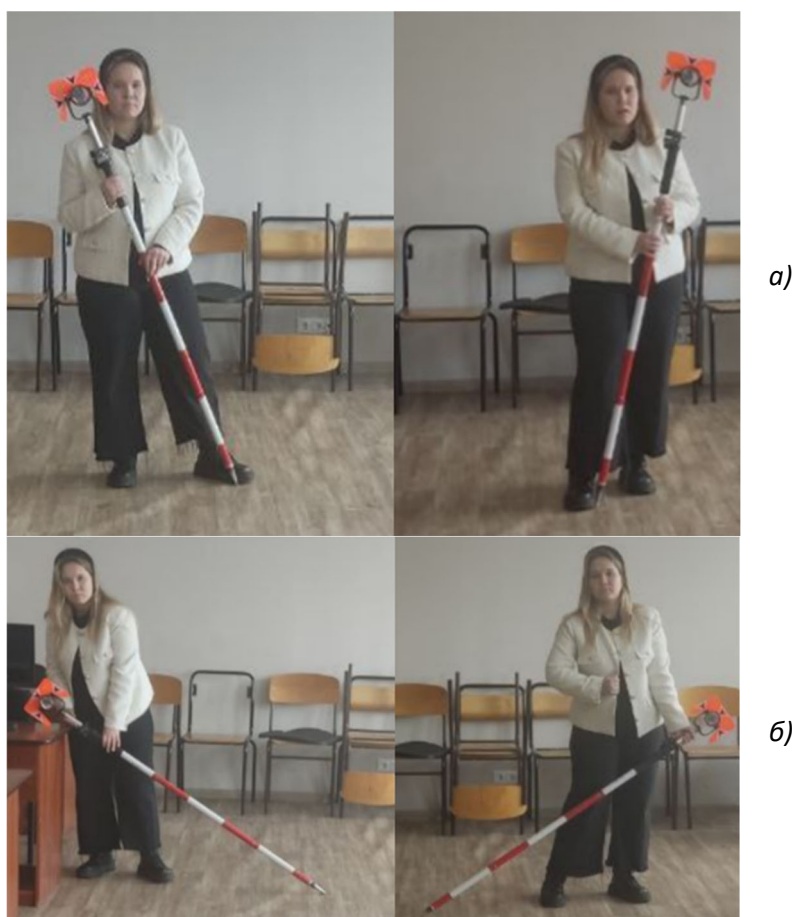


Рис. 10. Экспериментальные измерения

В таблице представлены результаты измерений с последующей их обработкой в созданной программе, а также разницы вычисленных координат с эталонными значениями ΔX , ΔY , ΔZ .

Вычисленные координаты центра сферы и их разницы с эталонными значениями

Измерения	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
Эталонные координаты	300.000	200.000	100.000	—	—	—
Измерения с малым наклоном вехи	299.999	200.002	100.041	0.001	0.002	0.041
Измерения с большим наклоном вехи	300.001	200.001	100.033	0.001	0.001	0.033
Измерения с малым наклоном вехи с учетом длины отражателя	299.999	200.002	100.010	0.001	0.002	0.010
Измерения с большим наклоном вехи с учетом длины отражателя	300.001	200.001	100.008	0.001	0.001	0.008

В таблице видно, что измерения с большим углом наклона вехи дают лучшее определение вертикальной координаты Z, при этом существенно не влияя на определение плановых координат. Также очевидно, что введение высоты отражателя в исходные данные положительно влияет на точность определения координаты Z. При наличии высоты отражателя отклонение по высотной компоненте уменьшается почти в 4 раза и составляет 8 мм.

Заключение

В результате проведенного исследования и разработки программы для аппроксимации шара для вычисления координат недоступной точки, сделаны следующие выводы:

- смоделированы данные в виртуальной среде на веб-сервисе;
- создана программа вычисления центра сферы по известным точкам на ее поверхности на языке Python;
- создан удобный пользовательский интерфейс программы;
- проведены натурные испытания алгоритма на реальных измерениях с помощью тахеометра Leica TCR405 и комплектного отражателя;
- проведена оценка точности полученных координат с помощью созданной программы, сравнив вычисленные результаты с эталонными. Экспериментальный вариант с большим наклоном вехи и с известной высотой отражателя оказался наиболее точным.

Исходя из решенных задач можно сделать вывод, что главная цель исследования – создание программы для определения координат недоступной точки методом аппроксимации шара достигнута. Отклонения от эталонных координат не превышают нескольких миллиметров.

Разработанный алгоритм нуждается в дальнейших исследованиях, например, на больших расстояниях. Или при вычислении точки, скрытой за углом здания, из-за чего в зоне видимости может быть только половина полусферы.

Код программы доступен по ссылке: <https://clck.ru/3MKE8w>. Любой может совершенствовать алгоритм или определить его слабые стороны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич, Г.А. Геодезия. В 2-х кн. Кн. 1 [Текст]: учебник для вузов / Г.А. Уставич. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 352 с. ISBN 978-5-87693-487-1
2. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]. В 2 т. Т. 1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.: ил. ISBN 5-86066-071-5
3. Pratt V. Direct Least-Squares Fitting of Algebraic Surfaces [Текст] / V. Pratt // Computer Graphics. – 1987. – Vol. 21, no. 4. – P. 145–152. – DOI: 10.1145/37402.37422
4. Gander W. Least-Squares Fitting of Circles and Ellipses [Текст] / W. Gander, G. H. Golub, R. Strebler // BIT Numerical Mathematics. – 1994. – Vol. 34, no. 4. – P. 558–578. – DOI: 10.1007/BF01934268
5. Lukács G. Faithful Least-Squares Fitting of Spheres [Текст] / G. Lukács, A. D. Marshall, R. R. Martin // European Conference on Computer Vision (ECCV). – 1998. – P. 671–686. – DOI: 10.1007/BFb0055692
6. Ahn S. J. Least-Squares Orthogonal Distances Fitting [Текст] / S. J. Ahn // Geometric Fitting. – Berlin: Springer, 2004. – Chap. 3. – P. 41–60. – ISBN 978-3-540-20171-7.
7. Hesse R. A Fast Algorithm for Spherical Fitting [Текст] / R. Hesse, P. Leopardi // ANZIAM Journal. – 2007. – Vol. 48. – P. C187–C200. – DOI: 10.21914/anziamj.v48i0.70.

© В. Е. Терещенко, В. А. Машинец, Э. Э. Банищикова, 2025

М. С. Тутанова^{1✉}, С. П. Оленюк², Е. В. Кайгородова²

Анализ построения поверхностей по материалам БПЛА

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда
e-mail: mikochkat1984@mail.ru

Аннотация. Материалы аэрофотосъемки представляют собой один из ключевых источников информации о территории, которые используются для создания и обновления топографических карт и планов, а также для получения других пространственных данных. Характеристики и качество аэрофотосъемки напрямую влияют на качество конечной продукции, такой как цифровые топографические карты и планы, ортофотопланы, единая электронная картографическая основа, а также цифровые модели рельефа и местности и ориентированные аэроснимки. Цель данного исследования заключается в оценке данных аэросъемки, которые позволят достичь наибольшей достоверности в определении средних квадратических погрешностей (СКП) точек трехмерных моделей, полученных с использованием алгоритма масштабно-инвариантной трансформации признаков (SIFT) для автоматического распознавания точек. Также будет изучено влияние этих СКП с учётом пространственного направления.

Ключевые слова: СКП (средняя квадратическая погрешность), SIFT, БПЛА (беспилотные летательные аппараты)

M. S. Tutanova^{1✉}, S. P. Olenyuk², E. V. Kaigorodova²

Analysis of the construction of surfaces based on UAV materials

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov,
Karaganda Republic of Kazakhstan
e-mail: mikochkat1984@mail.ru

Abstract. Aerial photography materials are one of the key sources of information about the territory, which are used to create and update topographic maps and plans, as well as to obtain other spatial data. The characteristics and quality of aerial photography directly affect the quality of the final products, such as digital topographic maps and plans, orthophotoplans, a single electronic cartographic framework, as well as digital terrain and terrain models and oriented aerial photographs. The purpose of this study is to evaluate aerial survey data, which will allow achieving the greatest reliability in determining the average square errors (UPR) of points in three-dimensional models obtained using the scale-invariant feature transformation (SIFT) algorithm for automatic point recognition. The influence of these UPCs will also be studied, taking into account the spatial direction.

Keywords: UPC (standard deviation), SIFT, UAVs (unmanned aerial vehicles)

Введение

Анализ формирования поверхностей на основе данных аэрофотосъемки является ключевым этапом в обработке и анализе информации, полученной с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или других аэросъе-

мочных средств. Перед тем как приступить к анализу созданных поверхностей, необходимо провести предварительную обработку данных. Этот этап включает в себя удаление шумов, коррекцию и выравнивание изображений, а также создание облака точек или трехмерной модели местности. На основании облака точек или трехмерной модели осуществляется построение поверхностей, что может быть выполнено различными методами, такими как триангуляция Делоне, сглаживание сетки или другие алгоритмы, в зависимости от конкретных требований и целей анализа [1].

После формирования поверхностей требуется оценить их качество. Это включает в себя проверку на наличие артефактов, таких как разрывы или изломы, а также оценку точности и разрешения. В зависимости от поставленных задач может возникнуть необходимость сегментировать поверхности на различные классы или категории (например, земля, растительность, водные объекты и т. д.) [2].

После создания и классификации поверхностей проводится их интерпретация и анализ. Это может включать изучение характеристик местности, выявление изменений или особенностей ландшафта, а также планирование дальнейших действий на основе полученных данных [3].

Статистический анализ среднеквадратических погрешностей (СКП) поверхностей может быть полезен для оценки качества и точности данных аэрофотосъемки. Рассмотрим, как можно провести такой анализ для трех различных случаев.

1. Поверхность на основе опорных точек. При построении поверхности на основе опорных точек используются заранее измеренные на местности точки, которые служат опорными для формирования поверхности. Проведение анализа СКП для данного метода позволяет оценить точность и надежность созданной поверхности. Большие значения СКП могут указывать на неоднородность или нестабильность поверхности, тогда как малые значения СКП свидетельствуют о высокой точности данных.

При этом выделяются опорные точки на поверхности, которые имеют известные координаты, и для каждой координаты (X, Y и Z) рассчитывается СКП.

2. Поверхность по центрам фотографирования. Данный метод основан на использовании координат центров фотографирования для формирования модели местности. Он особенно эффективен при анализе данных аэрофотосъемки, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или спутников. В этом случае координаты центров фотографирования применяются для создания облака точек, и для каждой координаты в этом облаке также рассчитывается СКП. Это позволяет оценить точность определения координат центров фотографирования и, соответственно, точность самого процесса аэрофотосъемки. Анализ СКП для поверхности, построенной по центрам фотографирования, дает возможность оценить точность геопозиционирования изображений и их соответствие реальной местности. Высокие значения СКП могут указывать на ошибки в геопозиционировании или калибровке камер.

3. Поверхность по опорным точкам и центрам фотографирования. Этот метод сочетает данные об опорных точках с информацией о центрах фотографирования для создания более точной модели местности. В данном случае данные об опорных точках и центрах фотографирования объединяются для формирования более полного облака точек, после чего рассчитывается СКП для каждой координаты в этом объединенном облаке. Проведение анализа СКП для данного метода позволяет оценить общую точность и надежность данных, принимая во внимание как информацию об опорных точках, так и данные о центрах фотографирования. Такой подход может обеспечить более высокую точность поверхности по сравнению с использованием каждого из методов по отдельности.

Методы и материалы

Для вычисления среднеквадратических погрешностей (СКП) координат каждой точки модели из программы MetaShape были извлечены «соответствия», представляющие собой координаты точек на снимках. Эти фотограмметрические координаты были уравнены с использованием строгого метода в программе аналитической фототриангуляции «DonetskFoto», разработанной профессором Могильным С.Г. Результаты уравнивания содержат СКП для каждой точки модели [4].

В каждом из этих случаев статистический анализ СКП поможет определить уровень точности и надежности данных аэрофотосъемки, а также может быть использован для корректировки и улучшения процесса съемки в будущем.

Для интерполяции поверхностей на основе данных съемки БПЛА карьера использовалась программа Surfer. Это позволило создать гладкую и непрерывную поверхность, отражающую геометрию местности или объектов.

Программа Surfer применяет методы интерполяции, такие как метод наименьших квадратов, для создания поверхностей погрешностей на основе имеющихся данных. Это позволяет заполнить промежутки между измеренными точками и сформировать непрерывную поверхность.

После интерполяции данных Surfer предоставляет возможность визуализировать полученные поверхности погрешностей в 3D и 2D форматах, что позволяет увидеть изменения высот и неровности на поверхности карьера.

После визуализации поверхностей погрешностей можно провести анализ данных для выявления особенностей рельефа, определения участков с наибольшими погрешностями и оценки общего характера поверхности карьера.

На основе визуализации и анализа поверхностей погрешностей можно сделать выводы о структуре, характере и точности определения поверхности карьера, а также принять обоснованные решения на основе полученных данных.

При подготовке исходных данных скаляры векторов погрешностей M_x , M_y и M_z были дополнены скаляром суммарного вектора Lin , вычисленным по формуле $\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$. Затем данные были загружены построчно в файл внутреннего формата программы Surfer, где методом линейной интерполяции для каждого показателя (M_x , M_y , M_z и Lin) они были преобразованы в соответствующие GRID-поверхности размерностью 1000x1000. Визуализация резуль-

тата осуществлялась в той же системе в виде цветовой карты в соответствии с заданной шкалой значений.

Таким образом, на поверхностях погрешностей наблюдается неравномерное распределение и различия в значениях СКП (Рисунок 1,2,3), при этом выделены зоны с наибольшими показателями СКП.

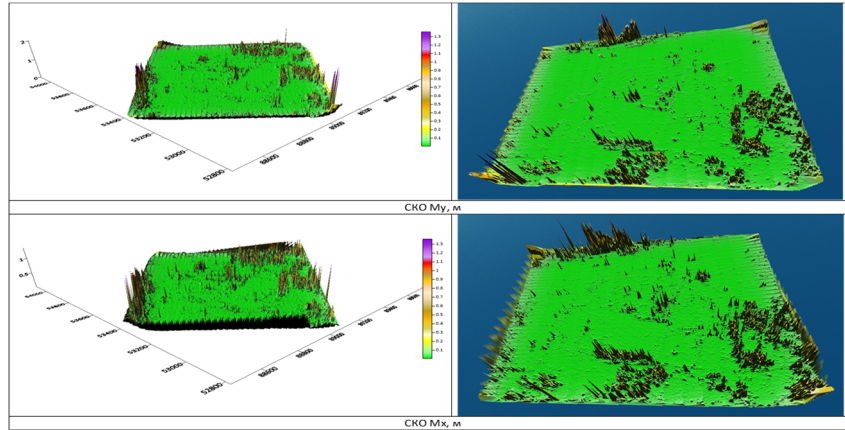


Рис. 1. Поверхность погрешностей M_x , M_y

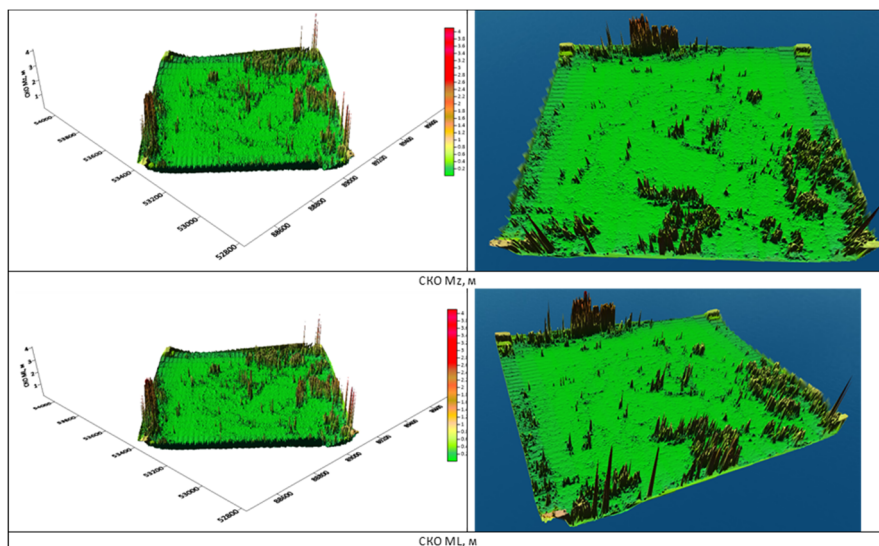


Рис. 2. Поверхность погрешностей M_z M_l

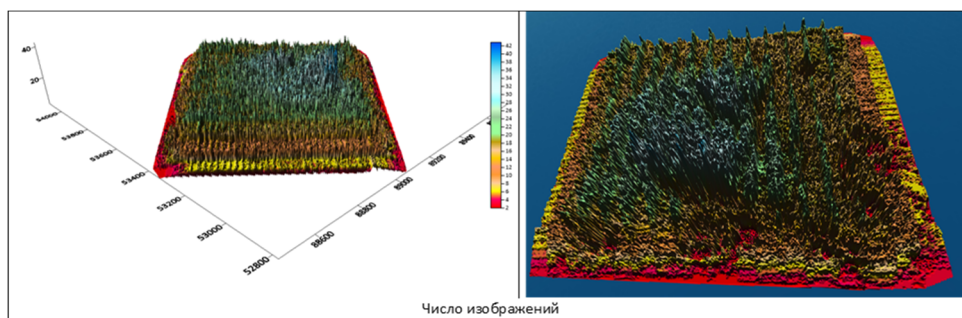


Рис. 3. Поверхность числа изображений

Нормированная частота распределения среднеквадратических погрешностей (СКП) является показателем того, как часто определенные значения СКП встречаются в наборе данных или в исследуемой выборке. Этот инструмент может быть полезен для анализа различных аспектов данных, таких как изменчивость или стабильность. Нормированная частота распределения СКП позволяет оценить вероятность того, что СКП будет находиться в определенных диапазонах значений. Например, при исследовании распределения СКП для данных, связанных с БПЛА, можно выявить, что большинство значений СКП сосредоточено в узком диапазоне, что свидетельствует о высокой степени стабильности или предсказуемости этих данных. Это также может указывать на то, что вероятность малых ошибок значительно превышает вероятность больших, что является важной информацией для оптимизации и улучшения процессов или систем, связанных с БПЛА. Результаты статистического анализа показали нормированную частоту распределения СКП по интервалам, из которых видно, что вероятность малых ошибок значительно выше, чем вероятность крупных (рисунок 4) [5,6].

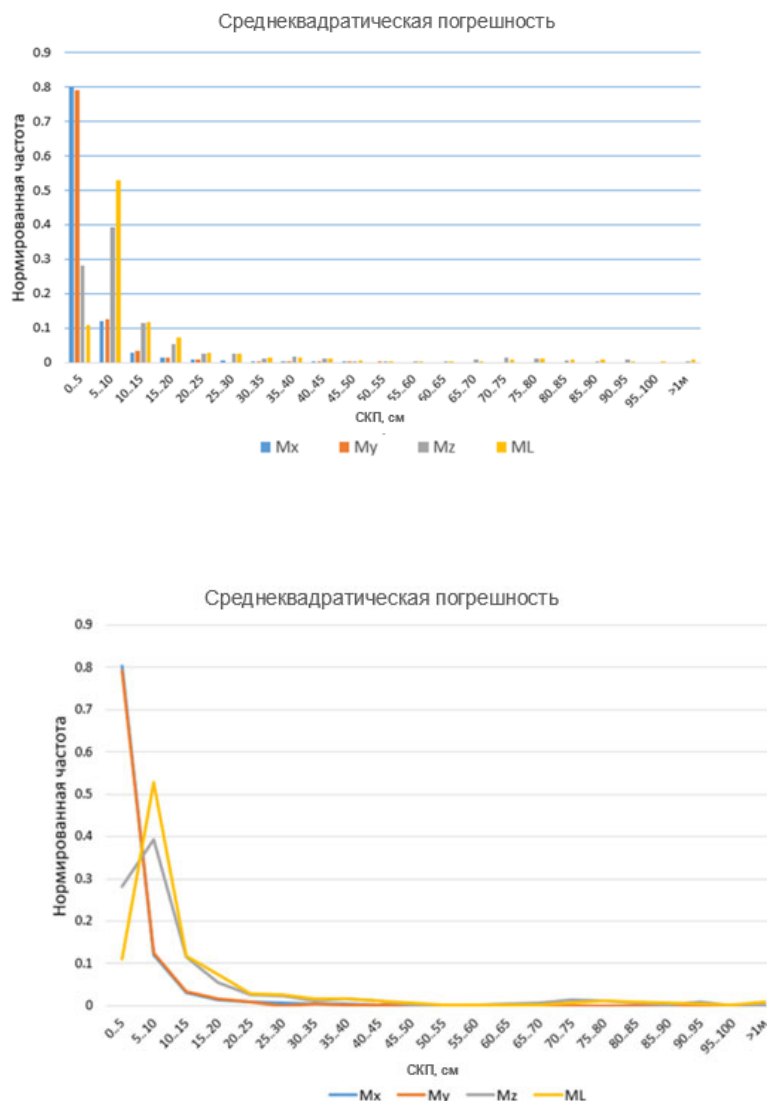


Рис. 4. Нормированная частота распределения СКП по интервалам

Результаты

Анализ данных о средней квадратической погрешности определения координат точек (СКП) для различных интервалов точности (до 20 см, до 15 см и до 10 см) в направлениях M_x , M_y , M_z и длине ML показывает следующее:

Наблюдается, что с увеличением точности (снижением СКП) значения СКП во всех направлениях и длине также уменьшаются. Это логично, поскольку более точные измерения должны иметь меньшие отклонения от истинного значения.

Например, для направления M_x снижение нормированной частоты СКП с 0.969 до 0.924 (при переходе от интервала точности до 20 см к интервалу до 10 см) демонстрирует значительное уменьшение погрешности.

Относительное влияние направлений M_x , M_y , M_z :

Можно заметить, что в различных интервалах точности, значения СКП для направлений M_x и M_y близки, в то время как M_z и ML имеют более высокие значения.

Это может свидетельствовать о специфике измерений или природе данных: например, если ось M_z соответствует вертикальной компоненте, то более высокое СКП может указывать на сложные условия съемки или повышенную чувствительность к изменениям высоты.

Интерпретация значений СКП:

Значения СКП ниже 1 указывают на относительно небольшие отклонения от среднего. Например, нормированная частота СКП 0.924 (при точности 10 см) вполне приемлемо для многих геодезических и картографических приложений.

Тем не менее, следует учитывать, что оптимальное значение СКП зависит от конкретного контекста и требований проекта, так как некоторые приложения могут требовать более высокой точности [7].

Обсуждение

Статистический анализ, включая распределение СКП, помогает не только оценить точность, но и выявить закономерности в данных, что важно для оптимизации процессов съемки и улучшения качества получаемых моделей.

Выявление подобных закономерностей наиболее наглядно с использованием 3D поверхностей погрешностей, являющихся важным инструментом для детального анализа и принятия решений.

Заключение

Повышение значения СКП или корреляция с другими факторами могут указывать на возможные ошибки в процессе съемки или в калибровке оборудования, что может быть учтено в будущих исследованиях.

Перспективным направлением дальнейших исследований может быть применение подобного анализа для данных, полученных с использованием оборудования с различными характеристиками в разных топографических и атмосферных условиях при исследовании влияния разнородных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ессин, А. С. Разработка методики пространственной фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки, полученной с беспилотного летательного аппарата / А. С. Ессин, С. С. Ессин // Сб. материалов науч. конф. «ГЕО-Сибирь – 2007». – Новосибирск : СГГА, 2007. – Т. 3. – С. 48–52.
2. Гафуров, А.М. Возможности использования беспилотного летательного аппарата для оценки почвенной и овражной эрозии // А.М. Гафуров// Ученые записки казанского университета. Серия естественные науки. 2017, Т. 159, кн. 4. С. 654–667
3. He Zhang, Emilien Aldana-Jague, François Clapuyt, Florian Wilken, Veerle Vanacker, and Kristof Van Oost Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure- from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection // European Geosciences Union. 2019, V.7, I. 3. P. 807-809
4. Могильний, С.Г. Теоретичні основи побудови цифрових квазізімків / С.Г. Могильний, А.О. Луньов // Вісник геодезії та картографії. – 2007. -№1. – С. 25-28.
5. Прокопенко, Е. В. Анализ погрешности при построении месторождений полезных ископаемых с использованием программного пакета SURFER / Е. В. Прокопенко, С. В. Масло // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2020) : Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции в рамках VI Международного Научного форума Донецкой Народной Республики, Донецк, 27–28 мая 2020 года / Редколлегия: Ю.К. Орлов [и др.]. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2020. – С. 29-32. Кусаинова А. А. Сапар А.И.
6. Кусаинова, А.М. Особенности работы с картографическим редактором SURFER // А.М. Кусаинова // Геодезия, землеустройство и кадастр: наука и производство : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию высшего геодезического образования в Омском ГАУ, Омск, 30 марта 2018 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2018. – С. 64-68.
7. Мальцев, К.А. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer) / К.А. Мальцев, С.С. Мухарамова // : Учебное пособие. – Казань: Казанский университет, 2014. – С.103.

© М. С. Тутанова, С. П. Оленюк, Е. В. Кайгородова, 2025

И. Г. Фютук¹✉

Современные направления применения технологий искусственного интеллекта в сфере внутреннего водного транспорта

¹ Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: ina_f@mail.ru

Аннотация. Активное внедрение искусственного интеллекта в различные сферы производственно-предпринимательской деятельности позволяет расширить экономические возможности любого экономического субъекта. Водный транспорт не является исключением и на современном этапе технологического развития все больше подключает возможности искусственного интеллекта в свои производственные процессы. Но внутренний водный транспорт в отличие от морского имеет свои особенности, требующие персонализированного обслуживания процессов навигационного мониторинга, транспортировочной и перегрузочной деятельности, а также обработки гидрометеорологической, гидрографической и прочей пространственной информации. То есть одним из основных направлений развития внутреннего водного транспорта является интеграция систем управления, использующих искусственный интеллект для анализа и обработки больших объемов данных. Кроме этого необходимо определить и другие возможные направления применения технологий искусственного интеллекта в сфере внутреннего водного транспорта, которые позволят открывать новые перспективы социально-интеграционного развития экономики транспорта, что и представлено в данном исследовании.

Ключевые слова: искусственный интеллект, водный транспорт, мониторинг

I. G. Fyutik¹✉

Modern directions of application of artificial intelligence technologies in the field of inland waterway transport

¹Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ina_f@mail.ru

Abstract. The active introduction of artificial intelligence into various spheres of industrial and entrepreneurial activity makes it possible to expand the economic opportunities of any economic entity. Water transport is no exception, and at the current stage of technological development, it is increasingly integrating the capabilities of artificial intelligence into its production processes. However, inland waterway transport, unlike marine transport, has its own characteristics that require personalized maintenance of navigation monitoring processes, transportation and transshipment activities, as well as processing of hydrometeorological, hydrographic and other spatial information. In other words, one of the main directions of the development of inland waterway transport is the integration of management systems using artificial intelligence to analyze and process large amounts of data. In addition, it is necessary to identify other promising areas of application of artificial intelligence technologies in the field of inland waterway transport, which will open up new prospects for meeting current trends in socio-integrative economic development, which is presented in this study.

Keywords: artificial intelligence, technology, water transport

Введение

В данном исследовании определяются возможности применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в сфере внутреннего водного транспорта (ВВТ) на основании рассмотрения технологических возможностей, которые интегрируются в процессы эксплуатации флота, транспортно-логистической деятельности и использования различной пространственной информации [1].

Для внедрения ИИ, позволяющего усовершенствовать производственную деятельность воднотранспортных предприятий, требуется выработка определенных стандартов и регуляций, направленных на обеспечение безопасности и эффективности в экономической, технологической и экологической сферах. Именно эти сферы отражают практическую значимость рассмотрения вопросов внедрения ИИ на ВВТ, что при планировании создаст возможность более четкого прогнозирования этапов транспортного процесса, позволяющее минимизировать задержки в пути и потери ресурсов, а также улучшит экологическую ситуацию за счет уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду [2].

В феврале 2024 год Президент РФ подписал указ, обновляющий «Национальную стратегию развития искусственного интеллекта на период до 2030 года», и одним из основных целевых показателей был установлен «рост доли приоритетных отраслей экономики с высокой готовностью к внедрению ИИ с 12% до 95%», что означает рост доверия к инновационному внедрению технологий искусственного интеллекта в различных профессиональных сферах. И как отразил в своей работе Аверкин А.Н., «объяснимость работы ИИ и процесса достижения им результата, характеризуется прозрачностью» [3], позволяющей визуализировать и оптимизировать управленческие действия. Что соответствует мнению зарубежных авторов о необходимости «развития надежного и объяснимого искусственного интеллекта» [4].

Также в работе рассматриваются вызовы, с которыми сталкиваются судоходные компании при внедрении ИИ. Сюда относятся необходимость обучения персонала, разработка новых стандартов и регуляций для работы с ИИ-технологиями, а также акцентируется внимание на важности создания партнерских отношений между технологическими (производственными) компаниями и операторами водного транспорта, что позволит более эффективно интегрировать ИИ в текущие бизнес-процессы воднотранспортных компаний [5].

Таким образом, данное исследование призвано осветить перспективы и потенциальные вызовы, которые стоят на пути применения ИИ в сфере ВВТ.

Методы и материалы

Для проведения данного популяционного исследования актуального для подготовки специалистов воднотранспортной отрасли в современных информационно-интеграционных условиях применялись методы индукции направлений деятельности водного транспорта, междисциплинарного синтеза отраслевых особенностей освоения и возможностей внедрения искусственного интеллекта (ИИ) в профессиональную деятельность выпускников СГУВТ.

Материалами для осуществления исследования выступили стандарты и регуляции, разрабатываемые на международном и национальном уровнях компетентными органами, обладающими широким спектром возможностей по обработке данных, построению алгоритмов и требований к безопасности и надежной эксплуатационной деятельности в сфере ВВТ и внедрении в ней ИИ. К таким источникам информации относятся, разрабатываемые Росстандартом РФ (www.rst.gov.ru) и действующие на сегодняшний день стандарты в области ИИ (ГОСТ Р ИСО/МЭК 42001 – 2024, ГОСТ Р ИСО/МЭК 24668 – 2022, ПНСТ 884 – 2023, ПНСТ 866 – 2023 и др.), которые в свою очередь ограничены общими принципами и рекомендациями, а их адаптация под специфические нужды, например, внутреннего водного транспорта оказывается необходимой.

К организациям, существующим на разных уровнях, которые также разрабатывают стандарты для ИИ, можно отнести Международную организацию по стандартизации (ISO), проводящую работу над установлением такого стандарта, как ISO/IEC JTC 1/SC 42, который охватывает широкий спектр аспектов по обработке данных, построению алгоритмов и требований к безопасности [6]. Или другой вариант - Международная морская организация (IMO), разрабатывающая руководства по безопасному внедрению автономных судов и технологий ИИ, где главным приоритетом считается безопасность на воде и предотвращение инцидентов. В свою очередь внедрение таких стандартов в сферу ВВТ может способствовать более широкому принятию ИИ в этой области [7] и повысить доверие со стороны компаний к новым технологиям [8].

Также материалами для исследования могут выступать применяемые программные продукты, примером может выступить единая платформа цифровых сервисов Северного морского пути (ЕПЦС СМП), которая разработана и реализуется в соответствии с приказом Минцифры России № 486 от 22.09.2020 г. (в ред. от 04.12.2023 г.). Стоимость такого проекта ЕПЦС (подготовленного госкорпорацией «Росатом») составила порядка 2,9 млрд руб. Данный программный продукт позволяет решать такие задачи, как сбор и предоставление своевременной гидрометеорологической, навигационной, гидрографической и прочей пространственной информации (в том числе и о ледовой обстановке), круглогодичная диспетчеризация и мониторинг организации безопасной круглогодичной навигации в акватории СМП, а также контроль экологической обстановки и эффективности функционирования СМП.

Обеспечивает проводимые исследования такое информационное поле, которое позволяет объединять усилия правительства, индустрии и научного сообщества, а, следовательно, разрабатывать безопасные и эффективные системы, способные усовершенствовать работу ВВТ.

Результаты

Создание стандартов является лишь начальной задачей, так как важно адаптировать ИИ к специфическим условиям ВВТ, который включает в себя различные типы судов, навигационные системы и географические особенности, а также должны учитываться особенности работы на реках, каналах и других внутренних

водоемах, то есть условиях, отличающихся от работы в открытых морях.

В связи с чем, одним из основных направлений на внутреннем водном транспорте становится интеграция систем управления, использующих ИИ для анализа и обработки больших объемов данных, которые способны собирать информацию о погодных условиях, состоянии навигационных гидроузлов, данных о загруженности водного пути и других актуальных параметрах, что позволяет автоматически адаптировать логистику флота в режиме реального времени. Адаптация графика движения судов с учетом изменений позволяет избежать за-
торов и минимизировать временные затраты на перевозку грузов [9].

Следующим важным направлением являются аспекты взаимодействия человека и машины, ведь несмотря на то, что ИИ способен решать множество задач, обязательно существует взаимодействие внутри экипажа и человеческий фактор по-прежнему остается критическим при обеспечении безопасности и достижении поставленных целей. Поэтому обучение персонала и интеграция процессов управления с использованием ИИ требует комплексного подхода, который будет включать участие всех заинтересованных сторон [10].

Еще одно направление автоматизации процессов включает в себя применение ИИ для улучшения технического состояния судов. Так технологии предиктивной аналитики позволяют предсказывать возможные поломки и предотвращать аварийные ситуации. Системы мониторинга состояния оборудования в режиме реального времени считывают данные с датчиков, контролируют работу системы управления [11], и предоставляют необходимую для принятия решений информацию по техническому обслуживанию судов (рисунок 1).

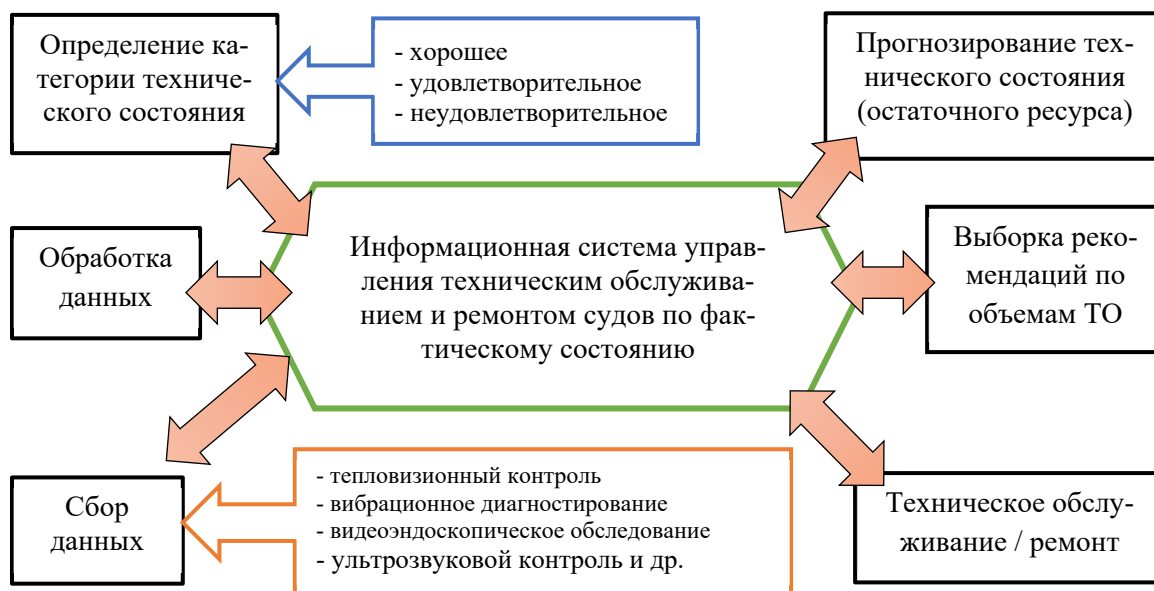


Рис. 1. Мониторинг технического состояния судов [11]

Кроме этого, технологии ИИ помогают улучшить эффективность использо-

вания топлива судов, что также имеет положительное влияние на ресурсосбережение и воздействие на окружающую среду. Системы предиктивной аналитики могут прогнозировать потребление топлива на основе данных о скорости, загруженности и погодных условиях, что позволяет проводить более точные расчеты и уменьшать углеродный след [12].

Другое направление внедрения ИИ в процессы управления деятельностью воднотранспортного предприятия может улучшить организацию логистических операций на терминалах и в пути следования. Системы автоматизированного планирования позволяют оптимизировать процессы загрузки и разгрузки судов, а также их распределение по причалам, что минимизирует время ожидания и позволяет увеличить общий грузопоток, что не только сокращает время транспортных операций, но и уменьшает риск человеческой ошибки.

Эффективное планирование является критически важным для обеспечения доставки грузов, улучшения работы судоходных компаний и минимизации их издержек. ИИ способен обрабатывать большие объемы данных, что в свою очередь позволяет находить оптимальные решения, учитывающие множество переменных, таких как погодные или гидрографические условия. Одним из основных инструментов, использующих ИИ для оптимизации транспортной деятельности, являются алгоритмы машинного обучения, способные анализировать данные об условиях движения судов предсказать наилучшие графики доставки [13].

Системы ИИ также могут интегрироваться с навигационными системами, что позволяет быстро принять решение, и, при возникновении непредвиденных обстоятельств, такие как изменяющиеся погодные условия или временные ограничения пути. Это особенно актуально для внутренних водных путей, где множество факторов может повлиять на транспортировку, включая уровень воды или состояние навигационной судоходной инфраструктуры.

Обсуждение

Особенно важным в процессе внедрения ИИ выступает имеющиеся или потенциальные технические возможности предприятия и отрасли, что и отражает вызовы применения ИИ на ВВТ. В производственной сфере технологии ИИ могут повысить эффективность процессов за счет автоматизации управления запасами, формирования грузовых заявок и отслеживания отправок, способности анализировать спрос и предсказывать потребности в будущих поставках с высокой точностью [14]. Это позволяет выстраивать более точные графики доставки и минимизировать издержки по хранению грузов [15,16]. Однако применение ИИ в логистике внутренних водных перевозок не лишено вызовов, и к числу таких вызовов относится необходимость корректных входных данных для создания алгоритмов [17].

Сфера водного транспорта сталкивается с многочисленными вызовами в области безопасности и охраны окружающей среды, поэтому современные технологии ИИ могут предложить целый ряд решений, которые помогут снизить негативное влияние на экосистему [18]. Так как водный транспорт традиционно сопряжен с выбросами вредных веществ, как в атмосферу, так и в водные объекты,

то экологические аспекты являются актуальными на современном этапе социально-экономического развития. Системы ИИ могут анализировать данные о содержании загрязняющих веществ в атмосфере и воде, и принимать решения о том, когда и как лучше осуществлять погрузо-разгрузочные работы и возможности транспортировки, чтобы минимизировать выбросы (сбросы) в окружающую среду, а также учитывать вероятность экологической катастрофы [19].

Следующее новое направление предлагают современные технологии – это применение беспилотных судов и дронов для мониторинга и контроля навигационной обстановки, что стало возможным благодаря ИИ [20]. Такие системы могут производить гидрологические замеры, осматривать состояние причалов и другой транспортной инфраструктуры, что позволяет отслеживать изменения и оперативно реагировать на неблагоприятные и рискованные ситуации [21].

Таким образом, важно обеспечить баланс между новыми технологиями и существующими нормами и стандартами [22]. Регуляторы должны создавать эффективные границы, позволяющие внедрять инновационные решения, направленные на повышение безопасности [23] и снижение вредного воздействия на окружающую среду. Что не только повысит качество обслуживания в сфере ВВТ, но и положительно скажется на статусе отраслевых предприятий.

Заключение

В рамках проведенного исследования были выявлены основные аспекты, касающиеся применения технологий искусственного интеллекта в сфере внутреннего водного транспорта. На основании анализа современных тенденций, потенциала и вызовов, связанных с внедрением ИИ, можно выделить несколько ключевых выводов и предложений:

1. Интеграция ИИ в процессы автоматизации, планирования и управления ВВТ позволит существенно повысить эффективность логистических процессов, снизить затраты и уменьшить риск аварий благодаря более точному прогнозированию и мониторингу. В этом контексте необходимо усиливать сотрудничество между научными учреждениями и отраслевыми компаниями для разработки новых алгоритмов и технологий, адаптированных под специфические условия функционирования ВВТ.

2. Создание и внедрение стандартов и регуляций для технологий ИИ на ВВТ, направленных на обеспечение безопасности. Важной задачей является выработка общепринятых норм, гарантирующих безопасность эксплуатации ИИ-систем на судах. В этом контексте необходимо обратить внимание на существующие международные стандарты и адаптировать их к особенностям ВВТ.

3. Решение вопросов повышения квалификации кадров, работающих на ВВТ для внедрения ИИ, так как требуется новый подход к подготовке специалистов, способных эффективно использовать новые технологии и принимать ответственность за их применение. У судоходных компаний возникает необходимость инвестирования в обучение своих сотрудников для сокращения временных за-

трат на переход к новым инновационным системам ИИ.

4. Создание экспериментальных площадок для тестирования и апробации новых технологий в реальных условиях, что позволит не только выявить сильные и слабые стороны технологий, но и адаптировать их под конкретные задачи и потребности судоходных компаний.

Подводя итоги, можно констатировать, что искусственный интеллект открывает новые перспективы для внутреннего водного транспорта, однако его успешное внедрение требует комплексного подхода, включающего современные технологии, качественное обучение кадров и сотрудничество на всех уровнях. Следует учитывать, что технологии развиваются очень быстро, и, чтобы оставаться конкурентоспособными, необходимо адаптироваться к этим изменениям и использовать их на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нокелайнен, Т. С. Картографирование условий навигации арктических рек России / Т.С. Нокелайнен // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 175-185. – DOI 10.35595/2414-9179-2019-2-25-175-185. – EDN PNP KMD.
2. Казанцев, А. Ю. Применение искусственного интеллекта в предотвращении и минимизации сбросов нефтесодержащих вод с судов // Каспийский научный журнал. – 2024. – № 1(2). – С. 9-20. – EDN IUINLU.
3. Аверкин, А. Н. Объяснимый искусственный интеллект как часть искусственного интеллекта третьего поколения // Речевые технологии /Speech Technologies. - 2023. - №1. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obyasnimyy-iskusstvennyy-intellekt-kak-chast-iskusstvennogo-intellekta-tretiego-pokoleniya> (дата обращения: 21.05.2025).
4. Sadiq, Z. and Aqib, M. Advancing Trustworthy Explainable Artificial Intelligence: Principles, Goals, and Strategies (Развитие надежного и объяснимого искусственного интеллекта: принципы, цели и стратегии) // Open Access Library Journal - Vol.10 No.11, November 2023. - DOI: 10.4236/oalib.1110870. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=129547>.
5. Программа формирования стека методов искусственного интеллекта при решении прикладных задач / А Ю. Пучков, Е И. Лобанева, М А. Василькова // Программные продукты и системы. – 2021. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programma-formirovaniya-steka-metodov-iskusstvennogo-intellekta-pri-reshenii-prikladnyh-zadach> (дата обращения: 13.05.2025).
6. Okoidigun, O. G., & Emagbetere, E. Trusting Artificial Intelligence: A Qualitative Exploration of Public Perception and Acceptance of the Risks and Benefits (Доверие к искусственному интеллекту: качественное исследование общественного восприятия и принятия рисков и преимуществ) // Open Journal of Social Sciences, Vol.13 No.3, March 2025. - DOI: 10.4236/jss.2025.133006. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=141113>.
7. Епихин, А. И. Использование искусственной нейронной сети для определения уровня износа цилиндропоршневой группы судового двигателя / А. И. Епихин // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – № 1-1(59). – С. 112-119. – DOI 10.37220/MIT.2023.59.1.013. – EDN MMPZEG.
8. Klingman, E. Artificial Intelligence as a Check on Logic (Искусственный интеллект как проверка логики) // Journal of Applied Mathematics and Physics - Vol.12 No.9, September 2024. - DOI: 10.4236/jamp.2024.129189. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=136346>.
9. Малыгин, И. Г. Высокоскоростной алгоритм передачи видеоинформации о чрезвычай-

ных ситуациях на объектах транспорта / И. Г. Малыгин, О. А. Королев // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 1-1(51). – С. 64-70. – DOI 10.37220/MIT.2021.51.1.009. – EDN RJUTUY.

10. Сидорина, Т. Ю. Автоматизация и искусственный интеллект в трудовых практиках / Т. Ю. Сидорина, О. А. Глебов, И. А. Сидельников // Журнал исследований социальной политики. – 2022. – Т. 20, № 3. – С. 433-444. – DOI 10.17323/727-0634-2022-20-3-433-444.

11. Казанцев, А. Ю. Применение искусственного интеллекта в предотвращении и минимизации сбросов нефтесодержащих вод с судов // Каспийский научный журнал. – 2024. – № 1(2). – С. 9-20. – EDN IUINLU.

12. Марков, В. П. Повышение эффективности предупреждения и пресечения нарушения правил эксплуатации в сфере водного транспорта // Юридическая наука. – 2018. – №5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-preduprezhdeniya-i-presecheniya-narusheniya-pravil-ekspluatatsii-v-sfere-vodnogo-transporta> (дата обращения: 26.04.2025).

13. Методы атак и защиты в системах машинного обучения: анализ современных исследований / И.В. Котенко, И.Б. Саенко, О.С. Лаута, Н.А. Васильев, В.Е. Садовников // Вопросы кибербезопасности. – №1(59) – 2024. – URL: <https://cyberrus.info/wp-content/uploads/2024/02/vokib-2024-1-st03-s024-037.pdf> (дата обращения: 29.04.2025).

14. Луков, С. В. Искусственный интеллект и киберпространство // Горизонты гуманитарного знания. – 2017. – №2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-kiberprostranstvo> (дата обращения: 20.05.2025).

15. Mohsen, B. Impact of Artificial Intelligence on Supply Chain Management Performance (Влияние искусственного интеллекта на эффективность управления цепочками поставок) // Journal of Service Science and Management - Vol.16 No.1, February 2023. - DOI: 10.4236/jssm.2023.161004. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=123356>.

16. Tuo, G., Appiah, M., Sarpong, K. and Okyere, S. (2024) Does Supply Chain Resilience Mediate the Relation between Artificial Intelligence Capabilities and Supply Chain Performance? (Влияет ли устойчивость цепочки поставок на взаимосвязь между возможностями искусственного интеллекта и эффективностью цепочки поставок?) // Open Journal of Business and Management - Vol.12 No.6, November 2024. - DOI: 10.4236/ojbm.2024.126218. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=137521>.

17. Кучкаров Т. С. О методах и инструментах анализа больших данных // Экономика и социум. – 2023. – №12 (115)-2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodah-i-instrumentah-analiza-bolshih-dannyh> (дата обращения: 16.05.2025).

18. Climate_forcing_from_the_transport_sectors (Воздействие на климат со стороны транспортных секторов). Февраль 2008. – 105(2):454-8. – DOI:10.1073/pnas.0702958104. - URL: https://www.researchgate.net/publication/5670799_Climate_forcing_from_the_transport_sectors.

19. Alruqi, A. and Aksoy, M. The Use of Artificial Intelligence for Disasters (Использование искусственного интеллекта при стихийных бедствиях) // Open Journal of Applied Sciences - Vol.13 No.5, May 2023. - DOI: 10.4236/ojapps.2023.135058. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=125106>.

20. Srinivasan, A. and Babu, V. Review of Applications of Artificial Intelligence and Drones in Oil Pollution in Seawater (Обзор применения искусственного интеллекта и дронов для борьбы с нефтяным загрязнением морской воды) // Journal of Computer and Communications - Vol.13 No.4, April 2025. - DOI: 10.4236/jcc.2025.134002. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=141987>.

21. Фютик, И. Формирование критериев экономической эффективности оценки влияния риск-факторов на функционирование предприятия водного транспорта / И. Фютик, О. Колодзяжная // International Independent Scientific Journal. – 2023. – № 55. – С.10-15. – DOI 10.5281/zenodo.8424733. – EDN BEORTF.

22. Белоусов, Д. Р. Долгосрочный научно-технологический прогноз: методологии по-

строения, контуры технологического будущего, сценарии развития / Д. Р. Белоусов, И. Э. Фролов // Форсайт. – 2008. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dolgosrochnyy-nauchno-tehnologicheskij-prognoz-metodologii-postroeniya-kontury-tehnologicheskogo-buduschego-stsenarii-razvitiya> (дата обращения: 24.04.2025).

23. Kaymaz Mühling, Ş. (2023) Utilizing Artificial Intelligence (AI) for the Identification and Management of Marine Protected Areas (MPAs): A Review (Использование искусственного интеллекта (ИИ) для определения и управления морскими охраняемыми территориями (МОТ): обзор) // Journal of Geoscience and Environment Protection - Vol.11 No.9, September 2023. - DOI: 10.4236/gep.2023.119008. - URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=127705>.

© И. Г. Фюттик, 2025

Е. Г. Гиенко^{1✉}, П. А. Гибадуллин¹

К вопросу согласованности координатных определений геодезических пунктов относительно различных сетей дифференциальных геодезических станций

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

Аннотация. Представлено сравнение координат точек, определенных в режиме РТК от разных дифференциальных геодезических станций (ДГС). Продемонстрировано хорошее согласие плановых координат в WGS-84 и в местной системе МСК-54, что является результатом включения ДГС в Федеральную сеть геодезических станций, где производится периодическое определение координат станций и контроль стабильности их рабочих центров. При этом обнаружены систематические смещения как геодезических, так и нормальных высот. Основными причинами таких смещений являются ошибки высоты антенны и применяемой локальной модели квазигеоида. Приведены рекомендации по поиску систематических ошибок в измерениях и оптимальному выбору ДГС для выполнения работ. Дальнейшее развитие координатного обеспечения с использованием дифференциальных геодезических станций связано с предоставлением пользователям в реальном времени нормальных высот в БСВ-77, а именно, построение высокоточных моделей квазигеоида для спутникового нивелирования.

Ключевые слова: дифференциальная геодезическая станция, федеральная сеть геодезических станций, РТК, местные системы координат, нормальные высоты, модель квазигеоида

E. G. Gienko^{1✉}, P. A. Gibadullin¹

On the issue of consistency of geodetic points coordinate definitions relative to various networks of continuously operated reference stations

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

Abstract. A comparison of coordinates of points determined in RTK mode from continuously operated reference stations (CORS) is presented. A good agreement of the planned coordinates in WGS-84 and in the local MSK-54 system was demonstrated, which is the result of the inclusion of the CORS in the Federal Network of Geodetic Stations, where the coordinates of stations are periodically determined and the stability of their work centers is monitored. At the same time, systematic displacements of both geodetic and normal heights were found. The main reasons for such shifts are errors in the height of the antenna and the local quasi-geoid model used. Recommendations on the optimal choice of CORS for the work are given. Further development of coordinate support using differential geodetic stations is associated with providing users with real-time normal heights in BSV-77, the construction of high-precision quasi-geoid models for satellite leveling

Keywords: continuously operated reference station, Federal Network of Geodetic Stations, RTK, local coordinate system, normal heights, quasi-geoid model

Введение

Дифференциальные геодезические станции ГНСС (ДГС) [1] широко используются для решения различных научных и прикладных задач, обеспечивая режим ГНСС-измерений «Кинематика в реальном времени», RTK (Real Time Kinematic). Производители и дилеры спутниковой аппаратуры предлагают создание «под ключ» постоянно действующих базовых станций или их сетей, а также измерительную информацию от этих станций. К настоящему времени создано более 1000 ДГС, и их количество продолжает увеличиваться. В населенных пунктах может быть несколько ДГС, принадлежащих разным операторам.

В публикации от 2015 г. [2] были представлены основные проблемы, касающиеся развития ДГС в России – их разновременное создание различными государственными и частными организациями без какого-либо нормативно-технического и правового регулирования со стороны государства, определение координат станций разными технологиями, с разной точностью и на разные эпохи, уравнивание результатов измерений в разных системах координат и высот, относительно разных опорных пунктов. Поэтому были не редки случаи, когда при работе в RTK с приемом информации от разных базовых станций координаты одной и той же точки различались на величину, в несколько раз превышающую паспортную точность спутниковой аппаратуры. Возникали споры по результатам землеустроительных работ.

Отмеченные в [2] задачи решались поэтапно на государственном уровне. Так, в 2020 г. вышел Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии «Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций» [3], регулирующий создание дифференциальных базовых станций. В Центре геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных при Росреестре (в настоящее время ППК Роскадастр) была организована Федеральная сеть геодезических станций (ФСГС) с аппаратно-программным комплексом (АПК) [4]. В 2023 г. в Федеральный закон «О геодезии...» были внесены поправки (от 04.08.2023), касающиеся ФСГС [5], а в 2024 г. Приказом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 26.04.2024 № П/0123/24 установлены требования к ФСГС, ДГС, а также требования к государственной информационной системе ФСГС [6].

Объединение частных дифференциальных станций в ФСГС с постоянно действующими пунктами ФАГС происходит по добровольному согласию операторов ДГС. С помощью АПК обеспечивается ежесуточное определение координат и мониторинг сетей. Создание и развитие ФСГС обеспечивает владельцам и пользователям ДГС:

- периодическое определение координат станций в ГСК-2011;
- периодический контроль стабильности рабочих центров;
- архивное хранение информации за время нахождения станций в составе ФСГС;

– информирование о соответствии ДГС требованиям нормативных документов.

Поскольку ФСГС образована недавно, актуальной задачей является проверка в полевых условиях согласованности координатных определений в режиме РТК от различных базовых станций, включенных в ФСГС.

В настоящем исследовании выполнены эксперименты по определению координат одних и тех же точек от разных базовых станций, выработаны рекомендации по оптимальному выбору операторов ДГС. Полученные результаты могут быть полезны геодезистам, работающим в РТК, операторам (владельцам) ДГС, а также специалистам службы сопровождения АПК ФСГС.

Постановка и задачи эксперимента

Экспериментальные исследования заключались в измерении координат точек в режиме РТК от нескольких базовых станций, принадлежащих разным операторам. ГНСС-измерения выполнялись в р.п. Ордынское, от базовых станций ORDN операторов PrinNet [7], Спутниковой сети дифференциальных геодезических станций НСО (ССДС НСО, [8]). В поселке есть еще одна станция ORDN, принадлежащая сети EFT CORS [9].

Следует отметить, что наличие только в одном районном центре трех базовых станций ставит вопрос оптимального выбора для выполнения топографо-геодезических работ. Поэтому дополнительная задача исследования заключалась в определении качества ГНСС-измерений на базовых станциях, а также в сравнении интерфейсов пользователей информации с этих базовых станций.

Измеряемые точки 1-4 расположены на расстоянии примерно 4 км от базовых станций, (рис. 1.).

Координаты точек определялись с помощью ровера Prince I90 (паспортная точность определения координат в режиме РТК в плане 8 мм+1мм/км, по высоте 15мм+1мм/км). Таким образом, расхождение в координатах, полученных от двух станций, расположенных на примерно одинаковом расстоянии (4 км), не должно превышать в плане 17 мм, по высоте 27 мм.

Точки 1-4 располагались в местах с открытым радиогоризонтом, измерения от двух базовых станций выполнялись практически в одно и то же время, наблюдались одни и те же спутники, геометрический фактор был от 1,3 до 1,5.

Координаты определялись в системе WGS-84 (геодезические широта В, долгота L, высота Н), а также в местной системе координат МСК-54 (плоские х, у и нормальные высоты Н^у).

Разности координат, полученных от двух ДГС, приведены в табл.1.



Рис.1. Расположение измеряемых точек и базовых станций

Таблица 1

Разности координат точек, полученных от двух ДГС

Точка	МСК-54			WGS-84			$(\Delta H - \Delta H^{\square}), \text{ м}$	$\Delta H, \text{ м}^*$
	$\Delta x, \text{ м}$	$\Delta y, \text{ м}$	$\Delta H^{\square}, \text{ м}$	$\Delta B, ''$	$\Delta L, ''$	$\Delta H, \text{ м}$		
1	-0,009	0,007	-0,254	0,00056	0,00766	0,107	0,361	-0,007
2	-0,010	-0,017	-0,264	0,00055	0,00638	0,097	0,361	-0,017
3	0,008	-0,023	-0,275	0,00004	0,00604	0,086	0,361	-0,028
4	-0,004	-0,014	-0,254	0,00036	0,00653	0,106	0,360	-0,008

*) Разница геодезических высот после внесения поправки за высоту антенны ДГС ССДС НСО

Из таблицы видно, что плановые координаты, определенные в режиме РТК от двух ДГС, согласованы между собой в пределах аппаратной точности ГНСС-измерений.

В разностях высот, как геодезических, так и нормальных, присутствуют систематические ошибки, в несколько раз превышающие допустимую ошибку.

Причины систематического смещения по высоте определяемых точек

Определим причины систематического смещения по высоте в измеряемых точках. Связь между нормальными и геодезическими высотами выражается формулой

$$H' = H - \zeta, \quad (1)$$

где ζ – высота квазигеоида, при спутниковом нивелировании определяется по модели квазигеоида (геоида).

В формуле (1) все компоненты содержат систематические ошибки, вызванные разными причинами, поэтому формулу спутникового нивелирования можно представить в виде [10]

$$(H' + dH') = (H + dH) - (\zeta + d\zeta), \quad (2)$$

где $d\zeta$, dH , dH' – систематические ошибки по каждой компоненте.

Систематическая ошибка в геодезической высоте dH , как правило, вызывается ошибками в высоте антенны базовой станции и ровера, а также ошибками в геодезических высотах базовых станций, принадлежащих разным операторам.

Источник систематического смещения нормальной высоты dH' – главным образом, различие начал отсчета высот (положения футштоков) в разных системах, а также систематическое смещение высот в БСВ-77 при удалении от Кронштадского футштока на восток [11].

Систематическое смещение модели геоида $d\zeta$ обусловлено тем, что при спутниковом нивелировании используются глобальные модели геоида, в то время как нормальные высоты отсчитываются от квазигеоида. Кроме того, глобальные модели, созданные в основном по результатам спутниковых миссий и альтиметрии, не могут подробно отобразить геоид на территории России, имеющей мало открытой водной поверхности для альтиметрических моделей. Уточнение моделей геоида выполняется путем построения локальной модели квазигеоида, на основании ГНСС-измерений на сети нивелирных реперов. Параметры локальной модели зависят от выбора узловых точек и алгоритма создания модели [10].

Смещение геодезических высот базовых станций

Рассмотрим систематическое смещение геодезической высоты в условиях эксперимента. В большинстве случаев в карточках пунктов ДГС высота антенны указывается равной нулю. Референцной точкой (ARP – antenna reference point), к которой относятся координаты, является низ крепления антенны или, иначе, верх винта ее принудительного центрирования.

Информация об антеннах на ДГС приведена в таблице 2. С 2023 г. на станции ССДС НСО сменилось ГНСС-оборудование, но высота антенны осталась прежней.

Предположим, что при смене оборудования на ДГС ССДС НСО не были внесены поправки в карточку станции и в заголовки Rinex-файлов. Введем в геодезические высоты определяемых точек поправку за высоту антенны на базовой станции 0,114 м. Тогда сравнение геодезических высот точек, полученных от двух базовых станций, даст результат, приведенный в таблице 1 в последнем столбце. Как видно из таблицы 1, разности геодезических высот уменьшились. Максимальное расхождение 28 мм превышает допустимое значение всего на 1 мм.

Таблица 2

Информация об антеннах на ДГС в р.п.Ордынское

ДГС	Тип антенны	Высота антенны, м	Источник информации	Примечание
PrinNet	HX-CCSX601A	0,000	Карточка станции, RINEX-файл измерений	
ССДС НСО	CNTAT600	0,114	Rinex-файл измерений	Установлена с 2023 г.
ССДС НСО	LEIAX1202GG	0,114	Rinex-файл измерений	До 2023 г.

Таким образом, наиболее вероятной причиной систематического смещения геодезических высот точек 1-4 в данном случае являются ошибочно заданные параметры антенны в карточке станции ССДС НСО и Rinx-файлах ГНСС-измерений после смены оборудования на станции.

Смещение нормальных высот

Смещение нормальных высот определяемых точек вызвано разностью применяемых моделей квазигеоида и способами получения нормальных высот. Вычисление нормальных высот базовых станций, расположенных на крышах зданий, выполняется по формуле (1). Непосредственное использование распространенной в ГНСС-технологиях модели геоида EGM-2008 для вычисления ζ дает систематические смещения нормальных высот относительно БСВ-77 на уровне 30-50 см для Новосибирской области [12-14]. Уточнение глобальных моделей геоида выполняется по данным ГНСС-измерений на нивелирных реперах. При создании сети ССДС НСО сотрудники СГУГиТ выполняли привязку базовых станций к геодезическим пунктам и нивелирным реперам, уточняя тем самым модель EGM2008 [12-16]. Таким образом, каждая станция ССДС НСО имеет нормальную высоту с точностью IV класса геометрического нивелирования [12-14].

С помощью онлайн-калькулятора от университетского консорциума наук о Земле UNAVCO [17] были определены высоты геоида ζ_0 в районе работ, с использованием модели геоида EGM2008. По формуле (1) вычислены ζ в точках 1-4, как разности геодезических и нормальных высот. Кроме того, для базовой станции ССДС НСО известна нормальная высота, с которой была вычислена высота квазигеоида. При этом геодезическая высота базовой станции была скорректирована на 0,114 м. Результаты приведены в табл.3.

Таблица 3

Высоты геоида над эллипсоидом в районе работ, м

Оператор	Точки	□□ UNAVCO	□ RTK	Разница
PrinNet	точки 1-4	-37,390	-36,947	0,443
ССДС НСО	точки 1-4	-37,400	-36,700	0,700
ССДС НСО	базовая станция ORDN (контр значения $H^{\square}$)	-37,400	-36,952	0,448

Как видно из таблицы, разность измеренных и вычисленных ζ в точках 1-4, определенных от станции PrinNet, практически совпадает со значением на базовой станции ССДС НСО. В то же время разности ζ в точках 1-4, определенные от базовой станции ССДС НСО, значительно отличаются как от данных значений, так и от систематических смещений, полученных в [12, 13]. Причина такого смещения неизвестна.

Качество ГНСС-измерений на базовых станциях

Для уточнения источника систематического смещения по геодезической высоте, а также для определения качества работы базовых станций была выполнена

обработка ГНСС-измерений с помощью онлайн-сервисов AUSPOS (относительный метод ГНСС) [18] и CSRS-PPP (метод точного точечного позиционирования) [19]. Данные сервисы предоставляют координаты определяемых точек в ITRF на средний момент ГНСС-измерений. Плановые координаты постоянно изменяются из-за глобального движения литосферных плит, а вертикальные движения в моделях литосферных плит равны нулю. Базовые станции ORDН находятся в геодинамически спокойном регионе, поэтому их высота не должна меняться со временем. Результаты определения геодезических высот базовых станций представлены в табл.4.

Таблица 4

Результаты получения геодезических высот базовых станций, м

ORDN	AUSPOS Высота антенны APR	CSRS-PPP Высота антенны APR	Контрольные значения	Комментарии
PrinNet	97,847±0,008	97,847±0,008	97,860	Приведено на сайте. Контрольное значение Н совпадает с вычисленным по координатам XYZ, приведенным в заголовке RINEX-файла
ССДС НСО	Обработать не удалось	100,358±0,008	100,462	На сайте контрольного значения нет. Высота Н вычислена по координатам XYZ, приведенным в заголовке RINEX-файла (одинаковых для 2017 и 2025 г.)

Как видно из таблицы, значения геодезической высоты базовой станции PrinNet, определенные двумя методами, практически одинаковы и отличаются от значения, приведенного на сайте, на 13 мм, что входит в доверительный интервал, равный удвоенной ошибке вычисления высоты с помощью онлайн-сервисов.

Вычисленное значение геодезической высоты базовой станции ССДС НСО меньше исходного значения на 0,104 м, что косвенно подтверждает ошибку в высоте антенны на данной станции.

На основании отчетов по обработке, предоставляемых онлайн-сервисами, можно определить качество ГНСС-измерений на базовых станциях. Файл ГНСС-измерений на базовой станции ССДС НСО не удалось обработать относительным методом с помощью сервиса AUSPOS. По результатам обработки методом точного точечного позиционирования PPP с помощью сервиса CSRS-PPP видно, что на станции ССДС НСО были проблемы с отслеживанием спутников, см рис. 2. Возможно, в этом причина отказа обработки относительным методом AUSPOS, где требуется одновременное наблюдение спутников на пунктах IGS и определяемых станциях.

Представленный в отчетах CSRS-PPP процент фиксированного решения для станции PrinNet – 97,73 %, для станции ССДС НСО – 73,7 %.



Рис. 2. Результат отслеживания спутников и решения уравнений фазовых псевдодальностей в CSRS-PPP. Цвет: зеленый – фиксированное решение, красный – захват спутника (решения нет), желтый – плавающее решение, голубой – неоднозначность в данных

Заключение

Как показали результаты получения координат точек в RTK от двух базовых станций, сходимост плановых координат как в WGS-84, так и в МСК-54, соответствует паспортной точности ГНСС-ровера. Такое согласие – результат включения базовых станций в ФСГС, где ГНСС-измерения обрабатываются ежедневно, и координаты уравниваются в единой системе координат относительно пунктов ФАГС и IGS [4-6].

Систематические смещения в геодезических высотах определяемых точек вызваны, вероятнее всего, ошибкой в высоте антенны базовой станции ССДС НСО, где не были внесены изменения после смены оборудования. Систематические смещения в нормальных высотах обусловлены различием применяемых локальных моделей квазигеоида.

Если в районе работ есть несколько ДГС, то при выборе оператора рекомендуется обращать внимание на следующие параметры:

- наличие станции в списке ФСГС, сведений о поверке оборудования и стабильности работы станции;
- открытые сведения об используемой ГНСС-аппаратуре, координатах, системе координат и эпохе, к которой они относятся;
- наличие в открытом доступе Rіnex-файлов ГНСС-измерений для возможности постобработки и анализа качества ГНСС-измерений;
- удобство интерфейса на сайте оператора базовых станций.

Желательно на сайте ФСГС или в карточках базовых станций на сайтах их операторов предоставлять координаты в единой государственной системе ГСК-2011, хоть это и не предусмотрено в ФЗ о геодезии, картографии и ИПД [1] для коммерческих организаций и частных лиц.

Дальнейшее развитие координатного обеспечения с использованием дифференциальных геодезических станций связано с предоставлением пользователям нормальных высот в БСВ-77 в реальном времени, а именно, построение высокоточных моделей квазигеоида для спутникового нивелирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О геодезии, картографии и пространственных данных. Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ. [Электронный ресурс] :– Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF / В. С. Вдовин, В. В. Дворкин, А. П. Карпик, Л. А. Липатников, С. Д. Сорокин, Г. М. Стеблов // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 6–27
3. Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций. Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии № П/0322 от 02.09.2020. [Электронный ресурс] : Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Федеральная сеть геодезических станций: загл. с экрана [Электронный ресурс] <https://cgkipd.ru/opendata/apk-fsgs.php>. Дата обращения: 15.05.2025
5. Федеральный закон от 04.08.2023 № 491-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" [Электронный ресурс] :– Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 26.04.2024 № П/0123/24 "Об установлении требований к созданию, эксплуатации, функционированию и развитию федеральной сети геодезических станций ...» (Зарегистрирован 31.05.2024 № 78432) [Электронный ресурс] :– Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. RTK-сеть базовых станций PrinNet: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://prinnet.ru/> Дата обращения: 15.05.25
8. Сеть спутниковых дифференциальных станций ГЛОНАСС НСО: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://dtc.nso.ru/page/25> Дата обращения: 15.05.25
9. Федеральная сеть базовых станций EFT CORS: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://eft-cors.ru> Дата обращения: 15.05.25
10. Гиенко Е.Г. Современные геодезические методы создания государственной координатной основы: учебно-методическое пособие/ Е.Г.Гиенко. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. – 104 с.
11. Ходаков П. А., Басманов А. В. Состояние главной высотной основы Российской Федерации с учётом результатов выполненных объёмов геометрического нивелирования в 2012-2018 гг //Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – №. 5. – С. 12-22. DOI:10.22389/0016-7126-2019-947-5-12-22
12. Гиенко Е. Г., Решетов А. П., Струков А. А. Исследование точности получения нормальных высот и уклонов отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008 //Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011. – Т. 1. – №. 2. – С. 186-191.
13. Обиденко В. И., Опритова О. А., Решетов А. П. Разработка методики получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной модели геоида EGM2008 //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2016. – №. 1 (33). – С. 14-25.
14. Гиенко Е. Г., Елагин А. В., Резниченко К. Ю. Результаты построения локальной модели квазигеоида на территории геодезического учебного полигона СГУГИТ //Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 1. – С. 252-260.
15. Лагутина Е. К. Апробация методики включения сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области в государственную геодезическую сеть //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2016. – №. 3 (35). – С. 35-42.
16. Терещенко В. Е., Лагутина Е. К. Сравнение относительных смещений пунктов сети постоянно действующих базовых станций Новосибирской области, полученных с использованием различных онлайн-сервисов обработки спутниковых измерений //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2019. – Т. 24. – №. 2. – С. 76-94.
17. Geoid Height Calculator: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/geoid-height-calculator/geoid-height-calculator.html> Дата обращения: 15.05.25
18. Onlain GPS Processing Service: загл. с экрана [электронный ресурс] <https://gnss.gov.au/auspos> Дата обращения: 15.05.25
19. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP): загл. с экрана [электронный ресурс] <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-publications/data> Дата обращения: 15.05.25

И. Е. Дорогова^{1✉}, В. В. Курносов¹, Р. Ф. Гарифуллин¹

Исследование потенциала использования дифференциальных геодезических станций для изучения геодинамических процессов

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

Аннотация. В настоящей статье рассматривается возможность использования данных дифференциальных геодезических станций (ДГС) для мониторинга деформаций земной коры и изучения геодинамических процессов в районах с повышенной сейсмической активностью. Проведен анализ пространственного распределения станций сетей EFT-CORS и ПРИННЕТ на примере Кавказского региона, оценена стабильность работы станций. Полученные с сайтов ДГС данные о расположении станций сопоставлены с картами сейсмической активности, расположением основных геологических разломов и информацией о стабильности работы с сайта Федеральной сети геодезических станций (ФСГС). Показано, что комбинация данных ДГС с современными методами обработки позволяет выявлять деформации земной коры и прогнозировать геодинамические риски. Следующим этапом исследования является обработка результатов, оценка и сравнение скоростей движений земной коры, полученных по данным ДГС, с другими источниками данных.

Ключевые слова: дифференциальные геодезические станции, геодинамика, GNSS, EFT-CORS, ПРИННЕТ, сейсмическая активность, мониторинг деформаций

I. E. Dorogova^{1✉}, V. V. Kurnosov¹, R. F. Garifullin¹

Research on the potential use of differential geodetic stations for studying geodynamic processes

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

Abstract. This article considers the possibility of using differential geodetic stations (DGS) data to monitor crustal deformations and study geodynamic processes in areas with increased seismic activity. The spatial distribution of EFT-CORS and PRINNET stations is analyzed using the Caucasus region as an example, their density and station stability are estimated. The data obtained from DGS are compared with seismic activity maps, locations of major geological faults, and stability information from the Federal Geodetic Station Network (FSGS) website. It is shown that the combination of DGS data with modern processing methods allows us to identify crustal deformations and predict geodynamic risks; further processing of observation results will show how consistent the obtained crustal movement velocities are with other data sources.

Keywords: differential geodetic stations, geodynamics, GNSS, EFT-CORS, PRINNET, seismic activity, deformation monitoring

Введение

Современные геодинамические исследования и задачи координатно-временного обеспечения государства [1-3] требуют высокоточного определения

движений земной коры, особенно в сейсмически активных регионах. Дифференциальные геодезические станции (ДГС), такие как EFT-CORS и ПРИННЕТ, предоставляют возможность регулярного получения пространственно-временных данных, позволяющих фиксировать изменение координат пунктов во времени. Однако для исследования потенциала их использования в геодинамических исследованиях требуется оценка количества станций и стабильности их работы, плотности распределения станций и корреляции расположения ДГС с картами сейсмической активности, расположением основных геологических разломов. Целью данного исследования является оценка возможностей применения данных ДГС для мониторинга деформаций земной коры на примере Кавказского региона.

Материалы и методы

В данном исследовании оценка потенциала для геодинамических исследований выполнялась для двух наиболее крупных сетей ДГС.

EFT-CORS – сеть постоянно действующих дифференциальных геодезических станций глобальных навигационных спутниковых систем GNSS, в настоящая время охватывающая обширную территорию Российской Федерации (рис. 1, а) [4].

ПРИННЕТ – сеть постоянно действующих дифференциальных геодезических станций GNSS от компании АО «ПРИН», расположенных на территории Российской Федерации (рис. 1, б) [5].

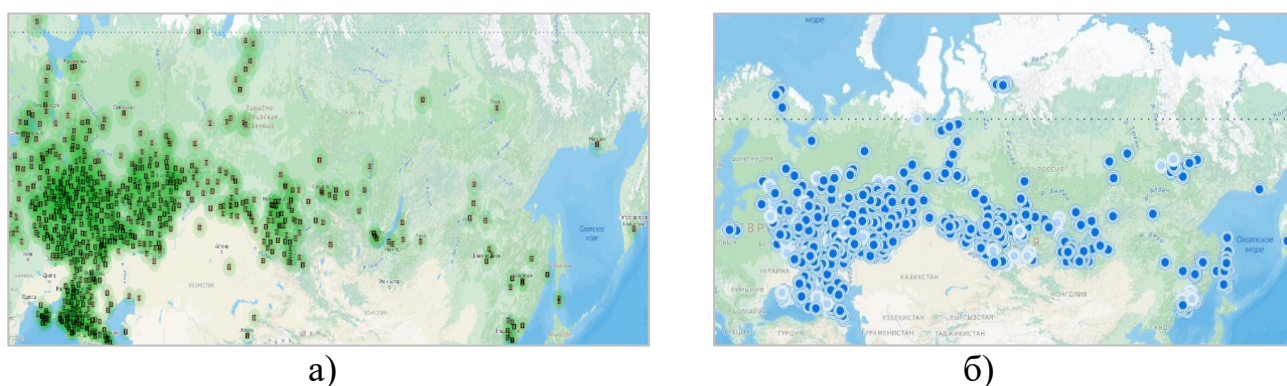


Рис.1 Карты распределения дифференциальных геодезических станций
а) EFT-CORS [4], б) ПРИННЕТ [5]

Преимуществами сетей дифференциальных геодезических станций являются: широкая географическая область покрытия, высокая плотность станций в экономически развитых регионах, длительные временные ряды наблюдений, доступность данных.

К некоторым ограничивающим недостаткам использования данных ДГС можно отнести неравномерное распределение станций, наличие пропусков в данных, зависимость от качества обработки данных, ограничение на скачивания RINEX-файлов.

Данные о дифференциальных геодезических станциях, вошедших в Федеральную сеть геодезических станций (ФСГС) приводятся также на официальном сайте сети [6].

Авторами проведено небольшое исследование для оценки потенциала ДГС при решении задач построения локальных моделей движений земной коры для сейсмоактивных регионов, в состав исследования включены следующие пункты:

- сбор данных с сайтов EFT-CORS и ПРИНNET;
- оценка плотности ДГС для территорий геодинамически активных регионов, расчет средней плотности;
- оценка стабильности работы ДГС;
- сравнение данных с картами геологических разломов и сейсмической активности, а также с информацией сайта Федеральной службы геодезических станций (ФСГС).

Расчет средней плотности ДГС

Проведем анализ пространственного распределения станций сетей EFT-CORS и ПРИНNET на примере Кавказского региона, оценим их плотность и стабильность работы. А также сопоставим данные расположения ДГС с картами сейсмической активности и расположением основных геологических разломов.

Для оценки обеспеченности Кавказского региона ДГС проведен расчет их средней плотности. В качестве исходных данных были использованы количество станций и площадь региона.

Если оценить среднюю плотность ДГС на территории Российской Федерации для станций сети ПРИНNET, получим 1 станцию на 24 672 км² (693 станции на 17 098 246 км²). При этом плотность распределения станций существенно отличается для экономически развитых и малообжитых районов.

Для сравнения по Кавказскому региону средняя плотность расположения станций получилась равной одной станции на 3 784 км² (42 станции на 158 938 км²), что значительно превосходит среднюю плотность расположения станций для всей территории РФ и, вероятно, соответствует значениям плотности для экономически развитых регионов.

Проведенные расчеты подтверждают, что Кавказский регион характеризуется высокой плотностью расположения ДГС, что позволяет использовать данные для подробного геодинамического мониторинга. Важным фактором для изучения активных геодинамических процессов в сейсмически опасных районах является также расположение станций относительно геологических разломов и участков проявления сейсмической активности.

Сопоставление распределения ДГС с зонами сейсмической активности

В ходе исследования также проведен сравнительный анализ пространственного распределения дифференциальных геодезических станций (рис. 2, а) и зон сейсмической активности Кавказского региона (рис. 3, б).

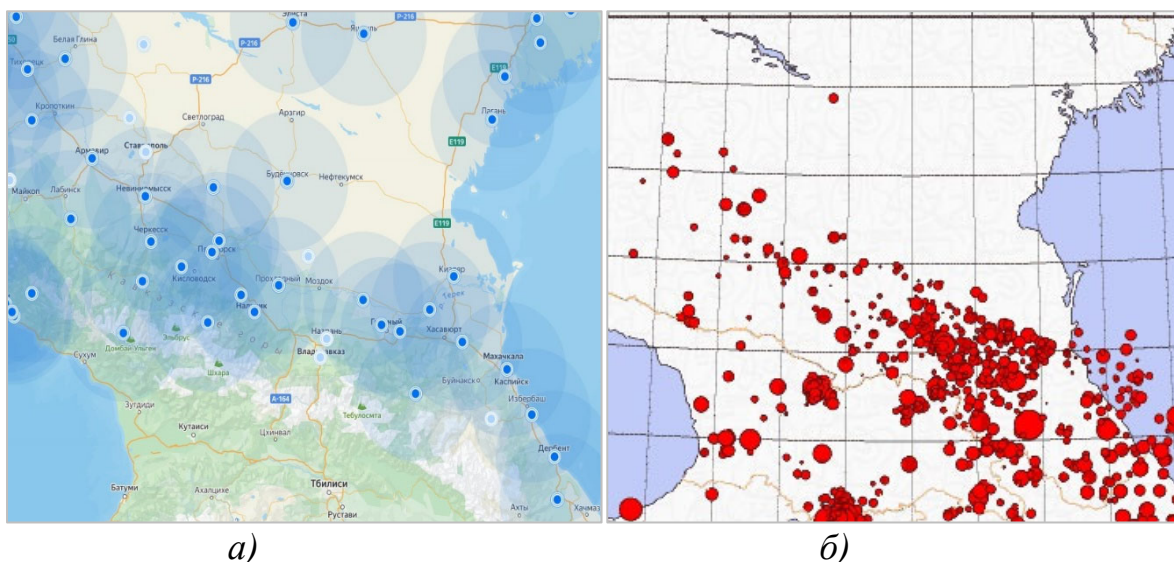


Рис 2. Сопоставление карты сейсмической активности с ДГС: а) карта станций ДГС ПРИННЕТ в Кавказском регионе [5]; б) карта сейсмической активности Кавказа [7]

Сравнение расположения ДГС и участков проявления сейсмической активности показало, что зоны повышенной сейсмичности Кавказа обеспечиваются достаточным количеством ДГС, что позволяет отслеживать деформации в реальном времени.

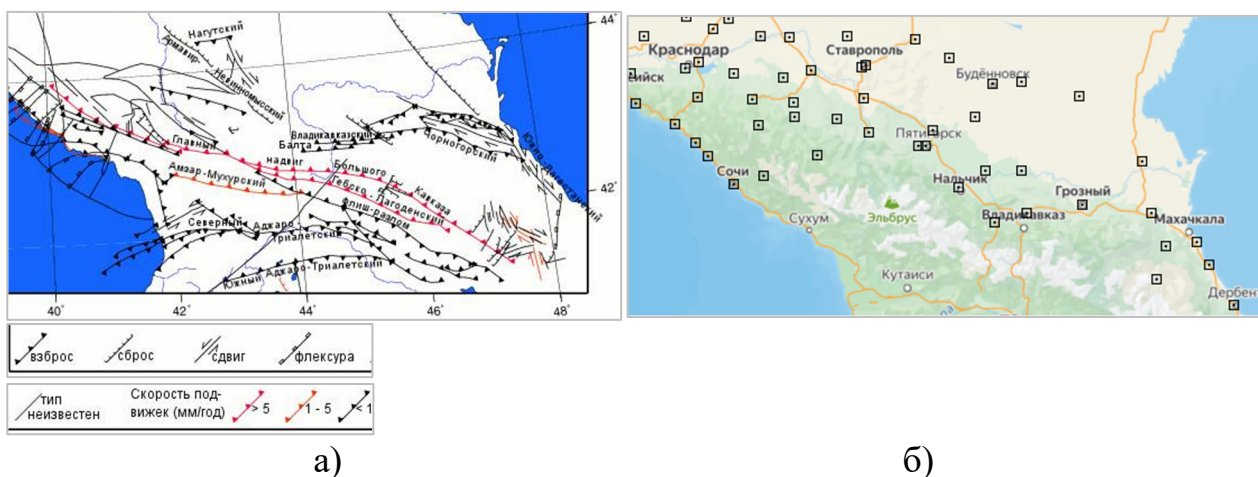


Рис 3. Сопоставление карты геологических разломов с ДГС: а) карта геологических разломов Кавказа [8]; б) карта станций ДГС EFT-CORS в Кавказском регионе [4]

Сопоставление карты разломов и расположения станций показало, что в целом расположение станций позволяет отслеживать перемещения точек земной коры разных бортов основных геологических разломов Кавказа.

Оценка стабильности работы ДГС

По данным о работе ДГС сети ПРИНNET Кавказского региона за период с ноября 2024 по апрель 2025 года была получена оценка стабильности работы станций, которая продемонстрировала следующие результаты:

- минимальный уровень стабильности работы для станции региона составил 40%;
- максимальный уровень стабильности работы для станции региона составил 95%;
- средний показатель по сети составляет около 78%.

Результаты оценки стабильности работы ДГС представлены в рис.3.

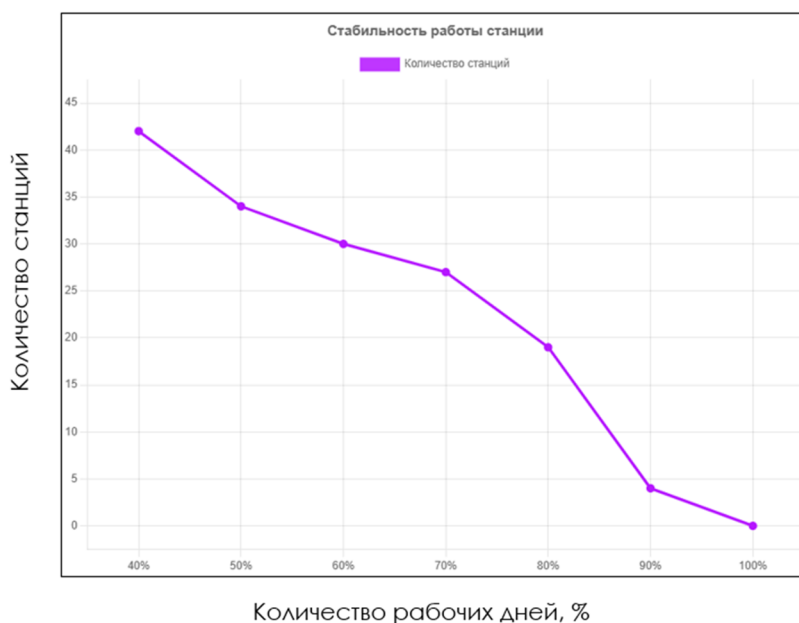


Рис.3. Оценка стабильности работы ДГС

За исследуемый период (ноябрь 2024 – апрель 2025 гг.) на уровне стабильности 80% и более работало всего 19 из 42 станций (менее половины), уровень стабильности работы в 70% продемонстрировали 27 станций. Таким образом, несмотря на хорошее с точки зрения изучения геодинамических процессов распределение станций на территории Кавказского региона, нельзя с полной уверенностью утверждать наличие достаточно подробных данных о смещениях станций, поскольку ряд станций работает нестабильно.

На следующем этапе исследования было выполнено сравнение данных о стабильности работы дифференциальных геодезических станций, полученных в ходе исследования за период ноябрь 2024 – апрель 2025 гг. и данных о стабильности работы станций за последние 7 дней, приведенных на сайте Федеральной сети геодезических станций (ФСГС) [6]. Результаты сравнения представлены на рис.4.

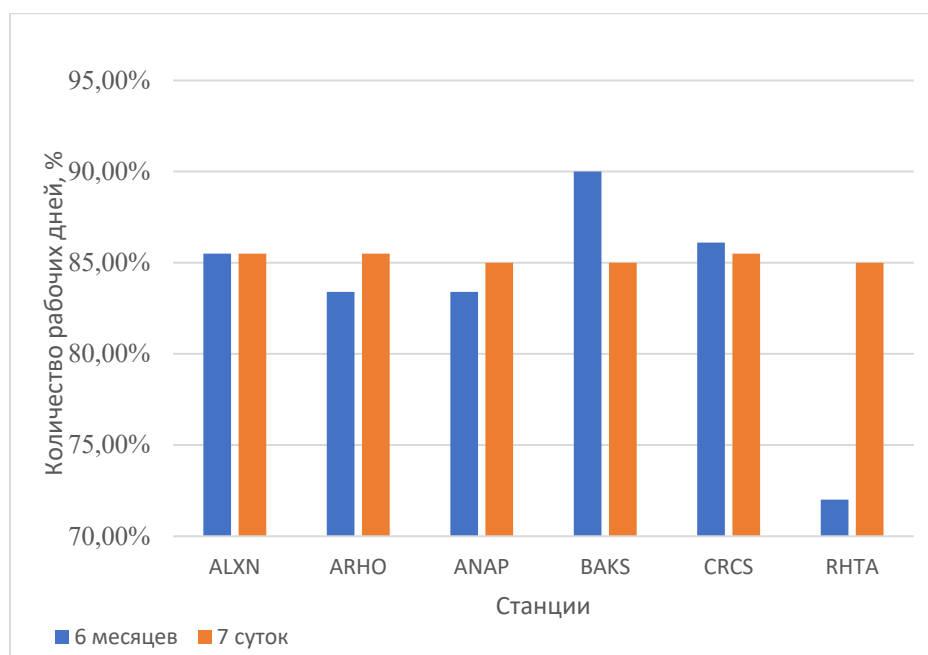


Рис.4. Сравнение данных о стабильности работы станций за последние 6 месяцев и последние 7 суток

На рисунке видно, что за последние 7 суток стабильность работы станций является более равномерной и составляет около 85%, что может оказаться случайностью или говорить о том, что в последнее время станции начали работать более стабильно, чем в целом за последние полгода.

Обсуждение

Анализ возможностей сетей EFT-CORS и ПРИНЕТ выявил их значительный потенциал для решения ключевых задач современной геодинамики.

Основные функциональные возможности ДГС для геодинимических исследований:

- выявление локальных скоростей движений земной коры с точностью до первых миллиметров в год;
- построение детализированных моделей современных геодинимических процессов;
- разработка прогностических оценок сейсмической опасности на основе анализа накопленных данных.

Ограничивающие факторы:

- пространственная неоднородность распределения станций (коэффициент вариации плотности достигает 65%);
- зависимость от стабильности работы станций.

Полученные результаты демонстрируют, что при обеспечении стабильности работы сеть дифференциальных геодезических станций потенциально может стать основой для создания:

- единой системы мониторинга деформаций;
- прогностических моделей сейсмической опасности;

– информационной базы для фундаментальных исследований в области гео-динамики.

Заключение

Исследование подтвердило значительный потенциал дифференциальных геодезических станций (ДГС) для решения задач геодинимического мониторинга. Использование данных станций сетей EFT-CORS и ПРИНNET в сочетании с соответствующей методологией обработки и анализа данных предоставляет мощный инструмент для изучения геодинимических процессов. Исследования по данным ДГС позволят получить ценную информацию о деформациях земной коры, выявлять закономерности, связанные с геодинимическими событиями, и прогнозировать возможные риски. Результаты таких исследований также могут быть использованы для разработки локальных подмоделей программно-математической модели движений земной коры. Тем не менее необходимо уделять особое внимание качеству данных, корректности обработки и интерпретации результатов для получения достоверных выводов.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках СЧ НИР «ГЕОТЕХ-Квант-3» с целью повышения точности координатно-временных определений на территории РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Карпик А. П., Дорогова И. Е. Анализ мирового опыта ввода полудинамических систем координат и территориальных реализаций систем координат // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 16–30. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-16-30.

2 Дорогова И.Е., Разработка программно-математической модели движений земной коры для территории Российской Федерации // Геодезия и картография. – 2024. – No 7. – С. 2-11. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1009-7-2-1.

3 Дорогова И. Е. Принципиальная схема программно-математической модели движений земной коры для территории Российской Федерации / И.Е. Дорогова // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения: сборник материалов VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, 21–24 ноября 2023 г., Новосибирск. В 3 ч. Ч. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – № 3. – С. 179-185. – DOI 10.33764/2687-041X-2024-3-179-185.

4 Сеть базовых станций EFT-Cors [Электронный ресурс]. – URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

5 Сеть базовых станций PRINNET [Электронный ресурс]. – URL: <https://prinnet.ru/> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

6 Сайт Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), Федеральная сеть геодезических станций [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsgs.cgkipd.ru/> (дата обращения 24.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

7 Сайт Единой геофизической службы Российской академии наук [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gsras.ru/new/about.htm> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.

8 Современная региональная геодинамика [Электронный ресурс]. – URL: <https://studizba.com/files/show/doc/92223-1-25234.html> (дата обращения 20.04.2025). – Режим доступа : общий доступ. – Текст : электронный.

© И. Е. Дорогова, В. В. Курносов, Р. Ф. Гарифуллин, 2025

Д. В. Крылов¹✉

Сравнительный анализ сетей дифференциальных геодезических базовых станций в России и за рубежом: проблемы развития и перспективы

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

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ сетей дифференциальных геодезических станций (СДГС), функционирующих в Российской Федерации и ряде зарубежных стран (США, Канада, Германия, Австралия). Также дана характеристика и оценка текущего состояния соответствующей системы в РФ. Рассмотрены такие параметры, как плотность и равномерность покрытия, открытость и доступность данных, стандартизация, степень интеграции с геоинформационными системами, а также участие в международных инициативах. Проведен анализ ключевых барьеров и проблем, сдерживающих развитие отечественной системы СДГС. На основе зарубежного опыта предложены рекомендации по созданию/усовершенствованию в России единой координируемой и стандартизированной сети дифференциальных геодезических станций, которые смогут обеспечить открытый доступ к данным, и, что немаловажно, интеграцию с глобальными геодезическими сетями. Результаты исследования могут быть полезны при реализации государственной стратегии модернизации пространственно-временной инфраструктуры СДГС в России.

Ключевые слова: ГНСС, сеть дифференциальных геодезических станций, спутниковая система точного позиционирования, геоинформационные системы, пространственно-временная инфраструктура, стандартизация геодезических данных

D. V. Krylov¹✉

Comparative Analysis of Differential Geodetic Base Station Networks in Russia and Abroad: Development Challenges and Prospects

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

Abstract. This article presents a comparative analysis of differential geodetic base station networks (DGBS) operating in the Russian Federation and several foreign countries (USA, Canada, Germany, and Australia). It also provides an overview and assessment of the current state of the relevant infrastructure in Russia. Key parameters such as station density and spatial coverage, openness and availability of data, standardization, degree of integration with geographic information systems (GIS), and participation in international initiatives are considered. The article analyzes major barriers and issues hindering the development of the domestic DGBS network. Based on international experience, recommendations are proposed for the establishment or improvement of a unified, coordinated, and standardized network of differential geodetic base stations in Russia, which would ensure open data access and, importantly, integration with global coordinate systems. The results of the study may be useful for the implementation of the national strategy for modernizing Russia's spatio-temporal infrastructure.

Keywords: GNSS, differential geodetic base station network, satellite-based precise positioning system, geographic information systems, spatio-temporal infrastructure, geodetic data standardization

Введение

В наши дни без применения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и сетей дифференциальных геодезических станций (СДГС) невозможно развитие и функционирование высокоточной геодезии, навигации, градостроительства, кадастра и мониторинга территории. Обеспечивая привязку данных к точной системе координат в режиме реального времени, данные сети формируют основу пространственно-временной инфраструктуры государства. Одной из главных целей является объединение таких станций в региональные и национальные системы, интегрируя их в геоинформационные системы различного уровня.

Во многих странах уже действуют устойчивые и открытые СДГС, которые интегрированы в национальные и международные координатные системы, активно используются в геоинформационных платформах и поддерживаются государственными геодезическими службами. Примеры таких систем – NOAA CORS (США), SAPOS (Германия), AUSCORS (Австралия), CACS (Канада). Они характеризуются высоким уровнем стандартизации, плотным территориальным покрытием, открытым доступом к данным и международным взаимодействием.

В России же долгое время отсутствовала единая координируемая СДГС, несмотря на наличие как фундаментальных, так и частных решений. Только в последние годы формируется Федеральная сеть геодезических станций (ФСГС), направленная на консолидацию существующих ресурсов и создание современной отечественной координатной инфраструктуры.

Цель данной статьи – провести сравнительный анализ отечественной и зарубежных систем СДГС, выявить ключевые отличия и проблемы, а также наметить возможные направления развития российской сети с учётом мирового опыта.

Основным методом исследования является сравнительный анализ открытых источников, а именно официальных данных национальных геодезических служб, научных публикаций, аналитических докладов, технической документации и специализированных веб-ресурсов.

Обзор зарубежной практики

Прежде всего стоит упомянуть Международную службу IGS [1] (International GNSS Service) как пример слаженной межнациональной научной работы. Более двухсот организаций по всему миру работают над поддержанием корректной работы сети, используя сотни постоянно действующих ГНСС-станций. Станции сети обеспечивают высококачественные данные для точного позиционирования, научных исследований, геодинамики и согласования глобальных координатных систем. Служба IGS, предоставляя данные для постобработки и корректирующую информацию в режиме реального времени, влияет на формирование Международной земной координатной основы (ITRF). Таким об-

разом благодаря кооперации различных агентств по всему миру IGS повышает совместимости национальных координатных систем с международными стандартами и укрепляет международное научное сотрудничество.

Одной из самых масштабных и технологически развитых систем дифференциальных геодезических станций в мире является Сеть непрерывно действующих опорных станций (Continuously Operating Reference Stations, CORS [2]), управляемая Национальной геодезической службой США (National Geodetic Survey, NGS) в составе Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), далее NOAA CORS. Количество станций, размещенных по всей стране, насчитывает около 2 800 штук. Основным форматом предоставляемых данных являются данные для высокоточной постобработки. Поправки в реальном времени реализованы у каждого провайдера отдельно и не включены в перечень предоставляемых данных NOAA CORS. Также сеть имеет станции, интегрированные с IGS и активно используется в геодезии, мониторинге деформации, проектировании, научных исследованиях благодаря строгим требованиям к оборудованию, единым стандартам и открытости [3].

Канадская активная контрольная сеть (Canadian Active Control System, CACS [4]), управляемая Отделом геодезических изысканий (Geodetic Survey Division, GSD), охватывает как густонаселенный юг, так и отдаленные арктические территории, приоритет дан заселенным районам, поэтому система не покрывает территорию страны на сто процентов. Сеть поддерживает работу с GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou, а также ориентируется преимущественно на предоставление данных постобработки. CACS является важной частью национальной геодезической инфраструктуры Канады, так как станции сети, также, как и в случае с США, интегрированы с IGS и обеспечивают высокую точность координат в рамках Канадской пространственной системы координат (Canadian Spatial Reference System, CSRS).

Служба спутникового позиционирования Немецкой национальной геодезической службы (Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung, SAPOS [5]), функционирующая под руководством Федерального агентства по картографии и геодезии (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, BKG) на уровне федеральных земель, включает более 270 станций и полностью покрывает территорию Германии. Служба предоставляет доступ к сервисам как для постобработки, так и для получения поправок в реальном времени. Также можно отметить, что SAPOS интегрирован в европейскую координатную основу (European Terrestrial Reference System 1989, ETRS89) и европейскую постоянно действующую ГНСС сеть (European reference permanent GNSS network, EPN [6]), а также тесно связан с кадастровыми и топографическими базами через геоинформационную инфраструктуру AAA (AFIS – база данных пунктов государственной геодезической сети; ALKIS – кадастровая информационная система; ATKIS – топографическая информационная система). Благодаря стандартизации и открытости, система показывает высокий уровень согласованности и устойчивости.

Австралийские постоянно действующие референчные станции (Australian Continuously Operating Reference Stations, AUSCORS [7]), управляемые агентством Геонауки Австралии (The Geoscience Australia, GA), охватывают все регионы страны, включая удалённые и малообжитые территории. Станции сети передают данные в формате RINEX и поддерживают NTRIP-доступ для RTK. Сеть интегрирована с IGS и ориентирована на обеспечение высокой точности координат, что делает её важным элементом геодезических, картографических и научных задач. AUSCORS оснащена открытым доступом к данным, поддержкой многосистемных приёмников и имеет высокую степень надёжности.

Инфраструктура СДГС в России: состояние, ключевые проблемы и барьеры развития

В последние десятилетия развитие высокоточной геодезии в России опиралось на несколько параллельно существовавших инфраструктурных решений, каждое из которых решало ограниченный круг задач. Центральное место в поддержании государственной системы координат занимала Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС) [8]. Однако её низкая плотность, научная направленность и ограниченная прикладная применимость сделали её малоприменимой для массового прикладного применения.

В августе 2023 года в Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных» были внесены поправки (№ 491-ФЗ от 4 августа 2023 года) [9], уточняющие ключевые элементы нормативной и инфраструктурной базы пространственных данных. В частности, статья 9.1 закрепляет положения о создании Федеральной сети геодезических станций и её информационного обеспечения, а статья 9.2 устанавливает требования к использованию исключительно российских геоинформационных технологий, систем и средств в деятельности государственных и муниципальных органов, а также юридических лиц, участвующих в предоставлении государственных и муниципальных услуг. Эти нормы закрепляют обязательность соответствия используемых решений установленным требованиям и направлены на обеспечение технологического суверенитета в сфере пространственных данных. Ответственным за развитие и эксплуатацию Национальной системы пространственных данных определена публично-правовая компания «Роскадастр».

Эти шаги ознаменовали собой переход к формированию Федеральной сети геодезических станций (ФСГС) [10]. Данная сеть представляет собой цифровую платформу, объединяющую государственные, ведомственные и коммерческие станции, обеспечивающие приём спутниковых сигналов в режиме реального времени (RTK) и в формате постобработки (RINEX). По состоянию на 2025 год в систему включено более 2900 станций, из которых свыше 1500 имеют статус поверенных и постоянно активных. Включение станции в сеть возможно при условии соответствия минимальным техническим и метрологическим требованиям, в том числе прохождения поверки, наличие FTP сервера собирающего данные наблюдений и возможность передачи файлов наблюдений ФСГС для дальнейшей обработки.

На рисунке 1 представлена карта покрытия территории РФ сетью проекта ФСГС.

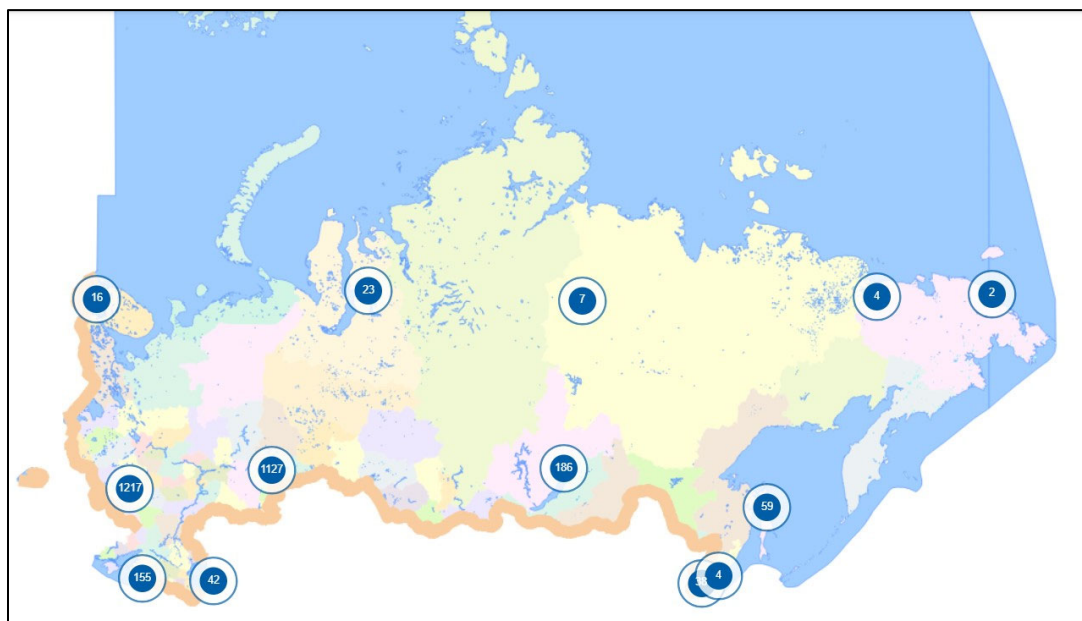


Рис. 1. Сеть ФСГС на территории РФ по данным сайта проекта [10].

Сеть управляется через государственную информационную систему – портал ФСГС, на котором пользователи могут:

- просматривать размещение и статус станций на карте либо в списке;
- получать координаты на текущую и стандартную эпоху;
- анализировать стабильность и доступность пунктов;
- скачивать RINEX-файлы и метаданные.

Обработка координат в системе осуществляется с использованием профессионального программного обеспечения Bernese GNSS [11] и собственных разработок ППК «Роскадастр», они обеспечивают высокую точность и совместимость с международными стандартами (в том числе ITRF). Визуализация координатных смещений, возможность анализа СКО и удобный фильтр по операторам и регионам делают систему эффективным инструментом для решения различных задач.

ФСГС стала важным элементом в реализации государственной политики в области пространственных данных: она обеспечивает передачу достоверной информации в федеральный фонд, создаёт условия для отказа от иностранных ГИС-программ и закладывает инфраструктурную основу для интеграции геодезии в цифровую экономику.

Несмотря на прогресс в формировании национальной системы, развитие сопровождается рядом сдерживающих факторов.

Прежде всего, сохраняется неравномерное территориальное покрытие. Центральные и южные регионы охвачены достаточно плотно, тогда как в Сибири, на

Дальнем Востоке и в арктическом регионе плотность пунктов остаётся недостаточной. Это ограничивает возможности применения высокоточной геодезии в удалённых территориях и крупных инфраструктурных проектах вне мегаполисов.

Частные операторы остаются важным источником поправок для дифференциального позиционирования в большинстве регионов страны. Во многих случаях именно их станции фактически обеспечивают покрытие там, где нет пунктов государственной сети. Однако полноценная интеграция коммерческих станций в ФСГС затруднена: не все из них проходят поверку, верификацию координат или соответствуют установленным требованиям к оборудованию и сбору данных. Также отсутствуют единые правила сертификации, имеются различия в форматах данных и уровнях ответственности. Все это создает барьеры для официального включения в сеть частных станций, несмотря на техническую пригодность.

Кроме того, в некоторых регионах отсутствует устойчивая телекоммуникационная инфраструктура, что делает невозможной круглосуточную передачу данных от станций и снижает стабильность работы сети.

Отдельной проблемой остаётся низкий уровень информированности среди пользователей – многие кадастровые инженеры, геодезисты и региональные специалисты либо не знают о существовании ФСГС, либо не используют её ресурсы из-за недостатка инструкций и адаптированных интерфейсов.

Сравнительный анализ

Для оценки текущего уровня развития российской системы дифференциальных геодезических станций представляется целесообразным провести сравнительный анализ с зарубежными платформами, реализующими различные подходы к организации ГНСС-инфраструктуры.

В таблице 1 приведены ключевые параметры, позволяющие сопоставить технические, организационные и функциональные особенности ФСГС с системами, действующими в США, Германии, Канаде и Австралии. Такой подход позволяет выявить как достигнутые результаты, так и направления для дальнейшего развития российской сети.

Таблица 1

Сравнительная характеристика национальных систем СДГС по ключевым параметрам.

№	Параметр	ФСГС (Россия) [10]	NOAA CORS (США) [2]	CACS (Канада) [4]	SAPOS [5] [12] (Германия)	AUSCORS [7] (Австралия)
1	Общее количество станций	~1 530 (из 2 965)	~2 774 (из 2 929)	~155 (в т.ч. муниципальные)	~270	700+ (в т.ч. за пределами Австралии)

Продолжение табл. 1

2	Покрывтие территории	Покрывтие неравномерное, с высокой плотностью станций в европейской части России и крупных агломерациях, при ограниченном охвате в Сибири, на Дальнем Востоке и в арктических регионах	Полное покрывтие территории (вкл. Аляску и Гавайи)	Почти полное покрывтие (включая северные и арктические регионы)	Полное покрывтие всей территории	Полное покрывтие территории, включая удаленные и труднодоступные регионы
3	Уровень открытости данных	Частично открытый (включая RINEX, метаданные и архив). Доступ через авторизацию на портале или при обращении к оператору	Полностью открытый (включая RINEX, метаданные и архив). Без авторизации	Полностью открытый (включая RINEX, метаданные и архив). Без авторизации	Частично открытый, с тенденцией к полному доступу (RINEX – бесплатно, RTK – платно). Потребуется авторизация	Полностью открытые и бесплатные данные (включая RINEX, метаданные и архив). Потребуется авторизация
4	Стандартизация координатных систем	ГСК-2011, ITRF [13]	NSRS, ITRF	CSRS, NAD83, ITRF	ETRS89, ITRF	ATRF2014, GDA2020, ITRF
5	Поддержка RTK	Нет, у отдельных провайдеров	Нет, у отдельных провайдеров	Нет, у отдельных провайдеров	Да	Да
6	Поддержка RINEX для постобработки	Да	Да	Да	Да	Да
7	Интеграция с ГИС	Ограниченная (в стадии формирования)	Высокая (наука, аграрный сектор, ЧС, кадастр, мониторинг)	Средняя (наука, кадастр, мониторинг)	Высокая (кадастр, топографическая информация, государственные и муниципальные ГИС) [14]	Средняя (кадастр, привязки для 3D-визуализации рельефа)

8	Участие в международных инициативах (IGS и др.)	Не заявлено	Да	Да	Да	Да
9	Централизованное управление	Да (ППК «Роскадастр»/Росреестр)	Да (NOAA, National Geodetic Survey)	Да (Natural Resources Canada)	Да (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)	Да (Geoscience Australia)
10	Наличие частных станций в сети	Да	Да	Да	Нет	Да

При анализе таблицы 1 можно заметить, что ФСГС нуждается в улучшении некоторых параметров, несмотря на значительный рост количества станций, выстроенную систему и институциональные преобразования последних лет.

Во-первых, территориальное покрытие остаётся неравномерным: высокая плотность пунктов наблюдается в европейской части страны и крупных агломерациях, тогда как в Сибири, на Дальнем Востоке и в арктических регионах наблюдается дефицит базовых станций. Это значительно ограничивает возможности применения высокоточной геодезии за пределами центральных регионов.

Во-вторых, уровень открытости данных в ФСГС ограничен: доступ возможен только после авторизации или обращения к конкретным операторам, в то время как в сравниваемых странах данные, включая RINEX, метаданные и архивы, предоставляются в полностью открытом и бесплатном формате. Такая открытость за рубежом способствует как научным исследованиям, так и развитию малого и среднего бизнеса.

В-третьих, интеграция ФСГС с ГИС и цифровыми государственными системами находится в стадии формирования. В зарубежных моделях (например, SAPOS или AUSCORS) данные СДГС активно используются в кадастровых, аграрных и муниципальных платформах, обеспечивая связность пространственной информации на всех уровнях.

Также стоит отметить, что данная система не заявлена как участник международных инициатив (например, IGS), в отличие от зарубежных аналогов. Это не позволяет включить российские данные в глобальные координатные и навигационные решения, а также ограничивает международную верификацию качества станций.

Тем не менее, ФСГС имеет ряд сильных сторон: это централизованное управление, поддержка координатной системы ГСК-2011 и международного стандарта ITRF, а также предоставление данных для высокоточной постобработки. Важно также подчеркнуть наличие в сети как государственных (ФАГС), так и частных станций (EFT CORS [15], PRIN NET [16], SmartNet [17], Topnet

Live-Russia [18] и т.д. [19] [20]) что открывает возможности для гибридной модели развития и распределённого охвата.

В совокупности это позволяет говорить о значительном прогрессе в развитии российской ГНСС-инфраструктуры несмотря на недостатки.

Рекомендации

По результатам проведённого анализа можно сформулировать следующие направления совершенствования СДГС в России

1. Устранение территориального дисбаланса:

- увеличить количество станций в Сибири, на Дальнем Востоке и в арктических регионах за счёт федеральных субсидий и программ стимулирования;
- разработать приоритетные геозоны покрытия с учётом социально-экономического и инфраструктурного значения регионов.

2. Интеграция частных станций:

- внедрить единый механизм сертификации и поверки частных базовых станций с включением в ФСГС;
- стимулировать участие частных операторов через налоговые льготы, доступ к государственной поддержке и публичный статус их пунктов в системе.

3. Открытость и стандартизация данных:

- расширить доступ к данным RINEX и метаданным через публичный интерфейс ФСГС;
- внедрить единые открытые форматы передачи РТК-данных, совместимые с международными стандартами (NTRIP, RTCM).

4. Интеграция с ГИС и цифровыми сервисами:

- развить API-интерфейсы ФСГС для встраивания в кадастровые, проектные и инженерные платформы;
- обеспечить совместимость координатных систем и метаданных с популярными отечественными ГИС.

5. Повышение осведомлённости и квалификации:

- провести информационные кампании среди кадастровых инженеров и геодезистов о возможностях ФСГС;
- разработать обучающие курсы и инструкции по использованию ресурсов ФСГС.

6. Международное сотрудничество:

- инициировать участие ФСГС в международных сервисах (IGS), повысив авторитет и совместимость;
- создать синхронизированные решения для трансформации данных между ГСК-2011 и ITRF.

Заключение

Развитие СДГС в России находится на этапе масштабной трансформации. Формирование ФСГС стало важным шагом к созданию единой и централизованной геодезической инфраструктуры. Однако анализ текущего состояния и международного опыта показывает необходимость устранения территориального

дисбаланса, повышения открытости данных и более глубокой интеграции с цифровыми сервисами. Реализация предложенных рекомендаций позволит повысить точность геодезических работ, расширить сферу применения координатной информации и обеспечить устойчивое развитие пространственных данных в интересах государства, науки и бизнеса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. International GNSS Service (IGS). About IGS [Электронный ресурс]. – URL: <https://igs.org> (дата обращения: 19.05.2025)
2. National Geodetic Survey (NGS). NOAA CORS Network (NCN) [Электронный ресурс]. – URL: <https://geodesy.noaa.gov/CORS/> (дата обращения: 19.05.2025)
3. Snay, R.A., Soler, T., Continuously operating reference station (CORS): history, applications, and future enhancements. *Journal of Surveying Engineering* 134 (4), 95–104. – 2008.
4. Natural Resources Canada. Canadian Active Control System (CACS) [Электронный ресурс]. – URL: <https://webapp.csrscs-nrcan.gc.ca/geod/data-donnees/cacs-scca.php> (дата обращения: 19.05.2025)
5. BKG – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. SAPOS – Satellitenpositionierungsdienst [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sapos.de/> (дата обращения: 19.05.2025)
6. European Permanent Network (EPN) – EUREF [Электронный ресурс]. – URL: <https://epncb.oma.be/> (дата обращения: 19.05.2025)
7. Geoscience Australia. AUSCORS – GNSS data and information [Электронный ресурс]. – URL: <https://gnss.ga.gov.au/stream> (дата обращения: 19.05.2025)
8. Официальный сайт сети ФАГС [Электронный ресурс]. – URL: <https://rgs.cgkipd.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
9. Федеральный закон от 04.08.2023 № 491-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202308040115> (дата обращения: 19.05.2025)
10. Официальный сайт проекта ФСТС [Электронный ресурс]. – URL: <https://cgkipd.ru/opendata/ark-fsgs.php> (дата обращения: 19.05.2025)
11. Официальный сайт проекта «Bernese GNSS» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bernese.unibe.ch/> (дата обращения: 19.05.2025)
12. Rosenthal, G. SAPOS The German National Satellite Positioning Service. // 1st Common Baltic Symposium: GPS-Heighting based on the Concept of a Digital Height Reference Surface (DFHRS) and Related Topics, Latvia, Riga – 2001.
13. Popadyev V, Stolyarov I, Gorobets V, The Russian State Geodetic Coordinate System, Founded on Satellite Network // FIG Working Week 2017, Helsinki, Finland – 2017.
14. Kummer K., Stoffel H., AdV Official German Surveying and Mapping, Germany – 2006.
15. Официальный сайт сети EFT CORS [Электронный ресурс]. – URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
16. Официальный сайт сети PRINNET [Электронный ресурс]. – URL: <https://prinnet.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
17. Официальный сайт сети SmartNet [Электронный ресурс]. – URL: <https://smartnetrtk.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
18. Официальный сайт сети Topnet Live-Russia [Электронный ресурс]. – URL: <https://topnet.gsi.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
19. Официальный сайт сети Геоспайдер [Электронный ресурс]. – URL: <https://geospider.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)
20. Официальный сайт проекта «Сеть дифференциальных геодезических станций тюменской области» [Электронный ресурс]. – URL: <https://ggs72.ru/> (дата обращения: 19.05.2025)

© Д. В. Крылов, 2025

Я. А. Некрестов¹✉

Исследование влияния освещенности на точность координирования в режиме визуального позиционирования EFT M5

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

Аннотация. Режим визуального позиционирования является дополнением к режиму RTK (Real Time Kinematic), которое позволяет выполнять съемку объектов на расстоянии и в гораздо большем объеме собирать информацию, чем с использованием традиционных методов съемки или RTK. Однако, одним из факторов, оказывающих влияние на точность результата, является освещение. Целью работы является исследование влияния освещенности объекта на результаты съемки в режиме визуального позиционирования. По результатам выполненных исследований установлено, что съемка однотонного объекта с лучшей освещенностью показывает лучшую точность по сравнению со съемкой с недостаточной освещенностью.

Ключевые слова: визуальное позиционирование, RTK, фотограмметрия, геодезия

Y. A. Nekrestov¹✉

Study of the influence of changing the distance to the coordinated object on the accuracy of visual positioning EFT M5

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

Abstract. Visual positioning mode is an addition to the RTK (Real Time Kinematic) mode, which allows you to shoot objects at a distance and collect much more information than using traditional survey methods or RTK. However, one of the factors affecting the accuracy of the result is lighting. The purpose of the work is to study the effect of object illumination on the results of shooting in the visual positioning mode. Based on the results of the studies, it was found that shooting a single-color object with better illumination shows better accuracy compared to shooting with insufficient illumination.

Keywords: Visual positioning, RTK, photogrammetry, survey

Введение

Цель исследования: методом сравнения выявить разницу в точности вычисляемых координат с помощью визуального позиционирования (ВП), обусловленную изменением освещения координируемого объекта.

Задачи исследования:

– выполнить съемку координируемого объекта с нескольких расстояний, находящихся за пределами, рекомендуемых производителем с плохой освещенностью;

- выполнить аналогичную съемку того же объекта, но с хорошей освещенностью;
- выполнить тахеометрическую съемку координируемого объекта;
- выполнить обработку съемок в режиме визуального позиционирования и построить тайловую модель объекта;
- вручную сколоть характерные точки, выбранные для сравнения с тахеометрической съемкой;
- сравнить координаты, вычисленные с помощью визуального позиционирования при плохом и хорошем освещении, с тахеометрической съемкой;
- сделать выводы и сформировать рекомендации на основе анализа полученных результатов.

Объект исследования: ГНСС-приемник EFT M5 [1] для выполнения геодезических съемок в режиме визуального позиционирования.

Предмет исследования: режим визуального позиционирования.

Научная новизна заключается в отсутствии исследований данной технологии ввиду её недавнего появления на рынке, а также высокой стоимости геодезического оборудования, в котором присутствует режим визуального позиционирования.

Практическая значимость исследования заключается в определении степени влияния освещенности объекта на получаемую точность вычисления координат в режиме ВП.

Исходными данными для исследования являются результаты выполненных экспериментальных измерений в режиме визуального позиционирования.

Оборудование и программное обеспечение (ПО) для обработки результатов предоставлено компанией EFT GROUP [2].

Методы и материалы

Исследование влияния освещенности на результат вычисления координат с помощью визуального позиционирования выполнено методом сравнения.

Для съемки использован ГНСС-приемник EFT M5[1, 6]. Съемка выполнена с получением поправок от сети постоянно действующих базовых станций EFT CORS [3]. Для тахеометрической съемки фасада использован электронный тахеометр EFT TS2. Координаты тахеометрической съемки приняты за эталонные.

Для сравнения выбраны 3 объекта в виде оконных проемов, расположенных с левого края, по центру и с правого края групп снимков, а также одна точка, расположенная на наружном блоке сплит-системы (находится по центру групп изображений) (рис. 1).

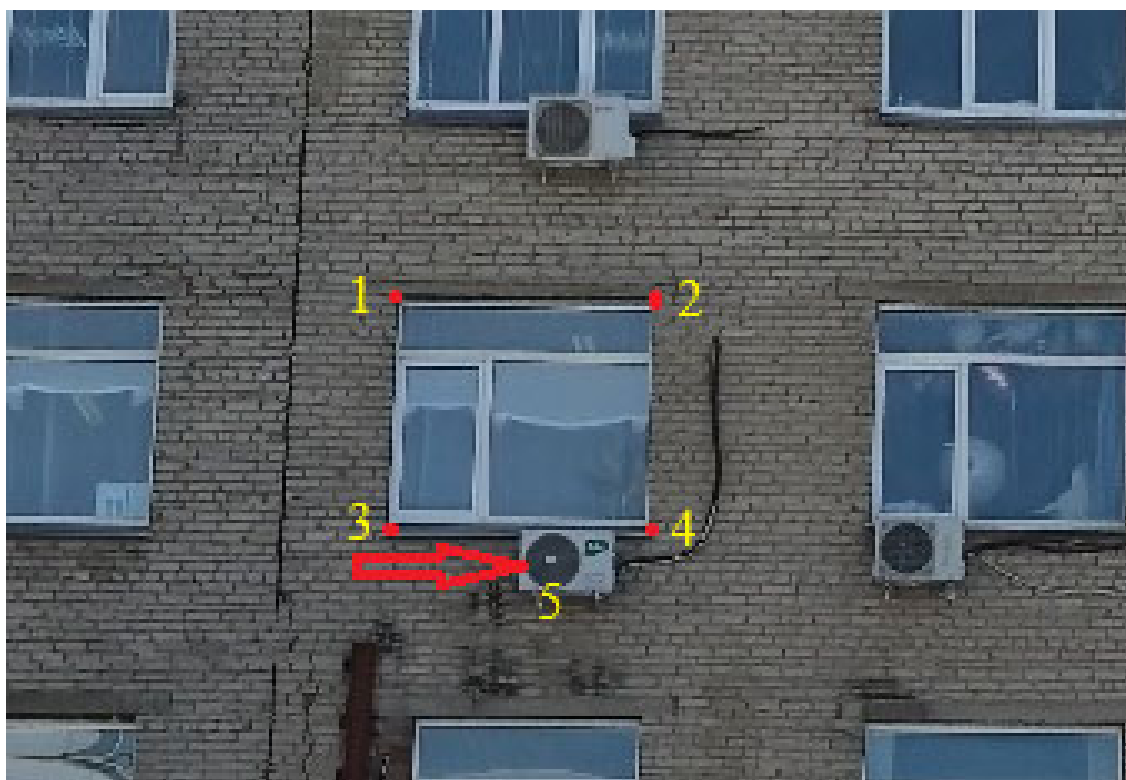


Рис. 1. Пример выбора точек для сравнения

Выполнена съемка фасада с плохой (рис. 2) и хорошей освещенностью (рис. 3).



Рис. 2. Фасад с плохой освещенностью



Рис. 3. Фасад с хорошей освещенностью

Для обработки фотограмметрических измерений использовалось ПО Agisoft Metashape [4].

Важно отметить тот факт, что для построения плотного облака точек группы снимков использовались попарно, согласно сформированным ранее рекомендациям [5], с расстояний:

- 20-30 м;
- 20-40 м;
- 30-40 м;
- 30-50 м;
- 40-50 м.

Результаты

Для сравнения с эталонными координатами выбраны одинаковые точки, координаты которых сколоты с плотного облака точек, построенного по группам изображений с разным освещением.

Результаты представлены в виде разницы координат эталонных и ВП в плане и по высоте с плохим освещением и отображены на диаграммах (рис. 4, 5, 6)

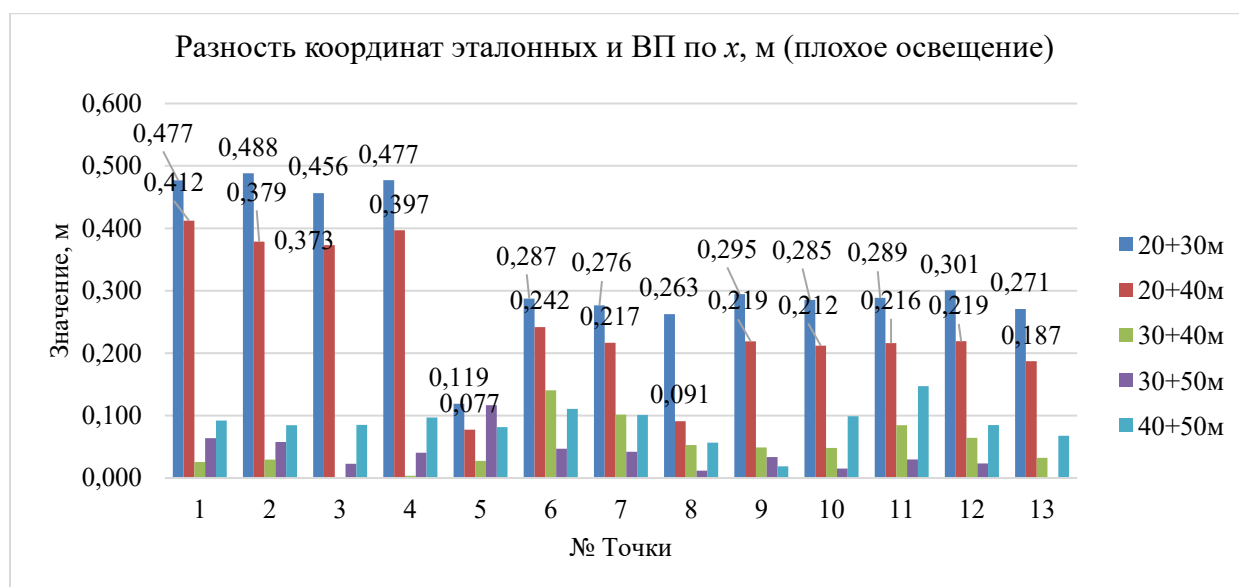


Рис. 4. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси x

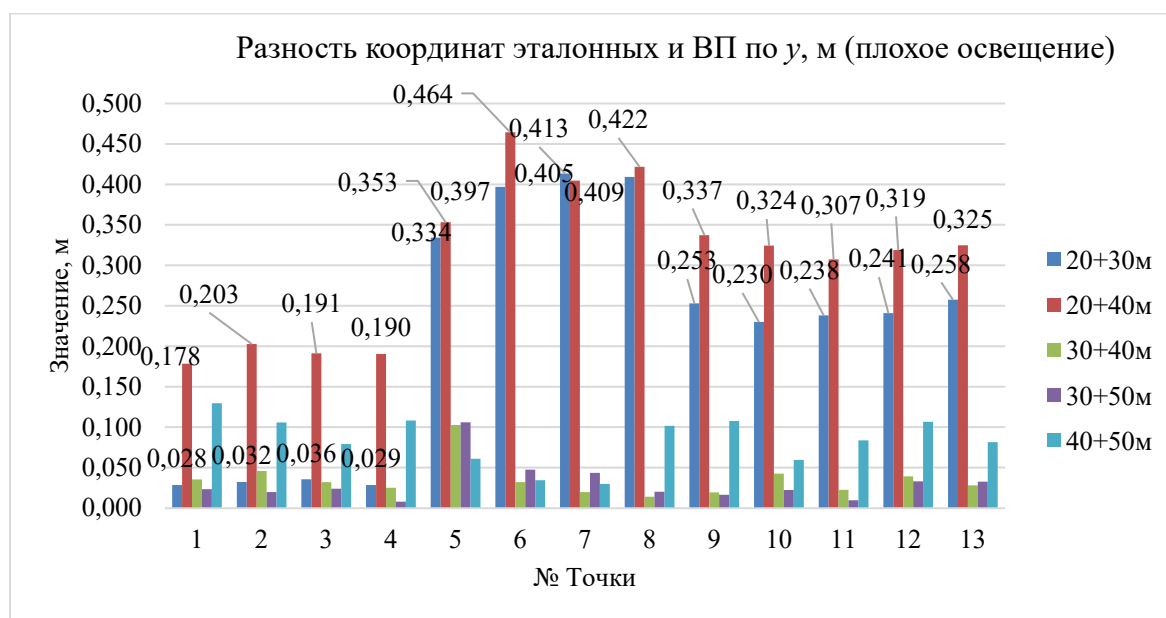


Рис. 5. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси y

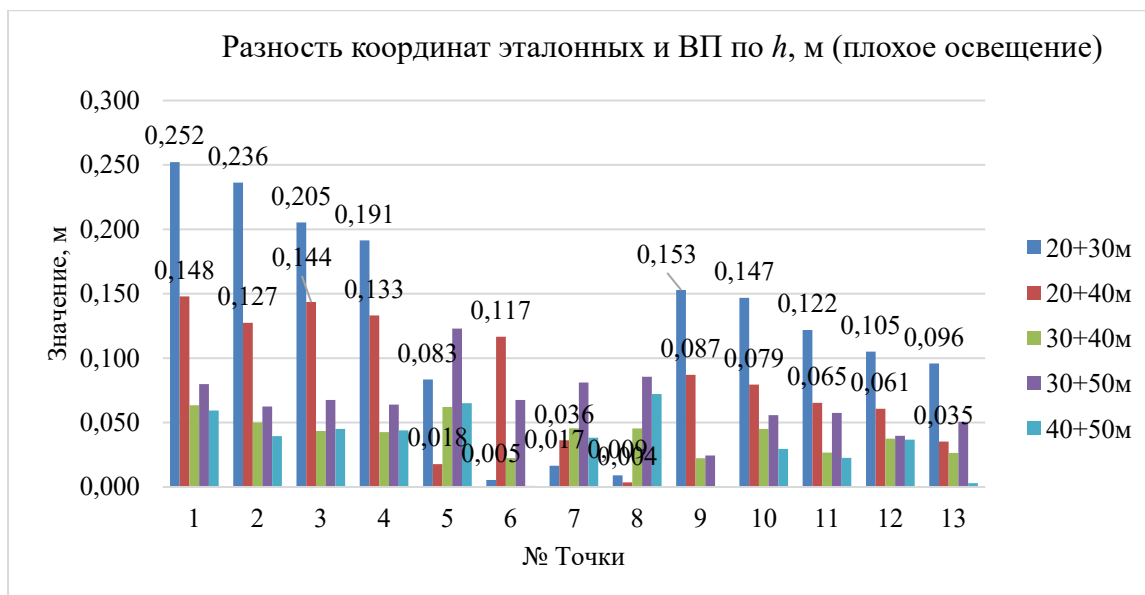


Рис. 6. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси h

Из анализа диаграмм видно, что группы снимков с расстояний 30, 40 и 50 метров до координируемого объекта позволяют вычислить координаты с точностью до 10 см, что удовлетворяет требуемой точности для топографических съемок в масштабах 1:500 и 1:1000 [7].

Комбинации групп снимков, содержащие группу изображений, находящуюся на расстоянии 20 метров от объекта съемки, показали худший результат.

Результаты отклонений координат эталонных и ВП, вычисленных при хорошей освещенности представлены аналогичным образом, в виде диаграмм (рис. 7, 8, 9).

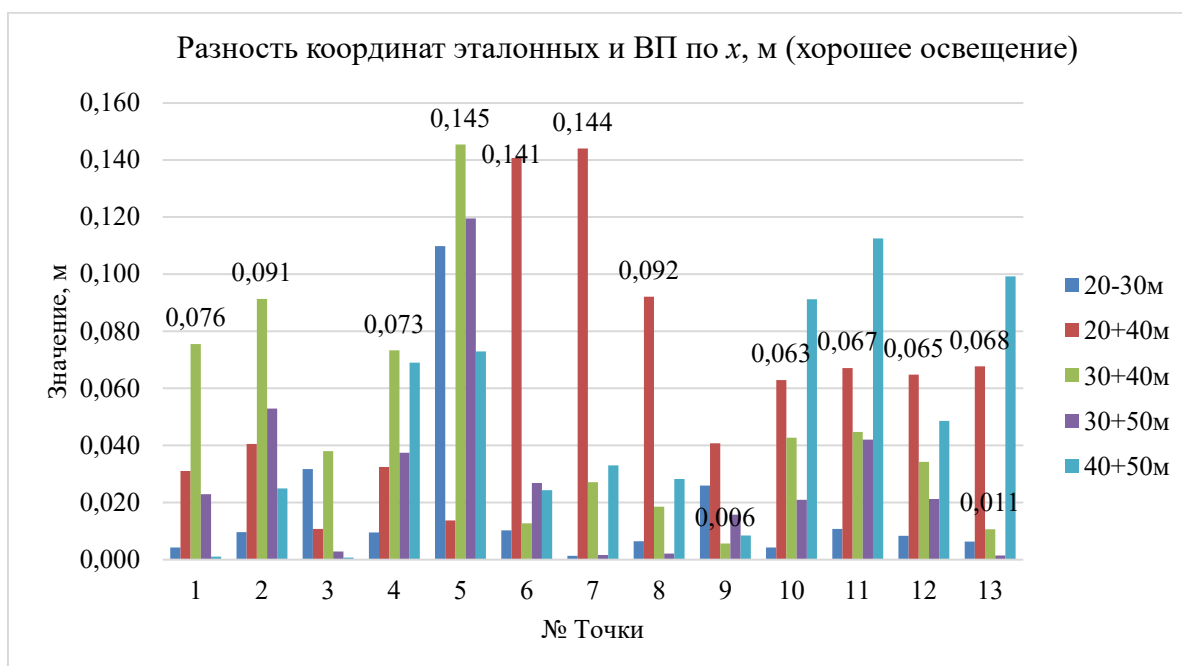


Рис. 7. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси x

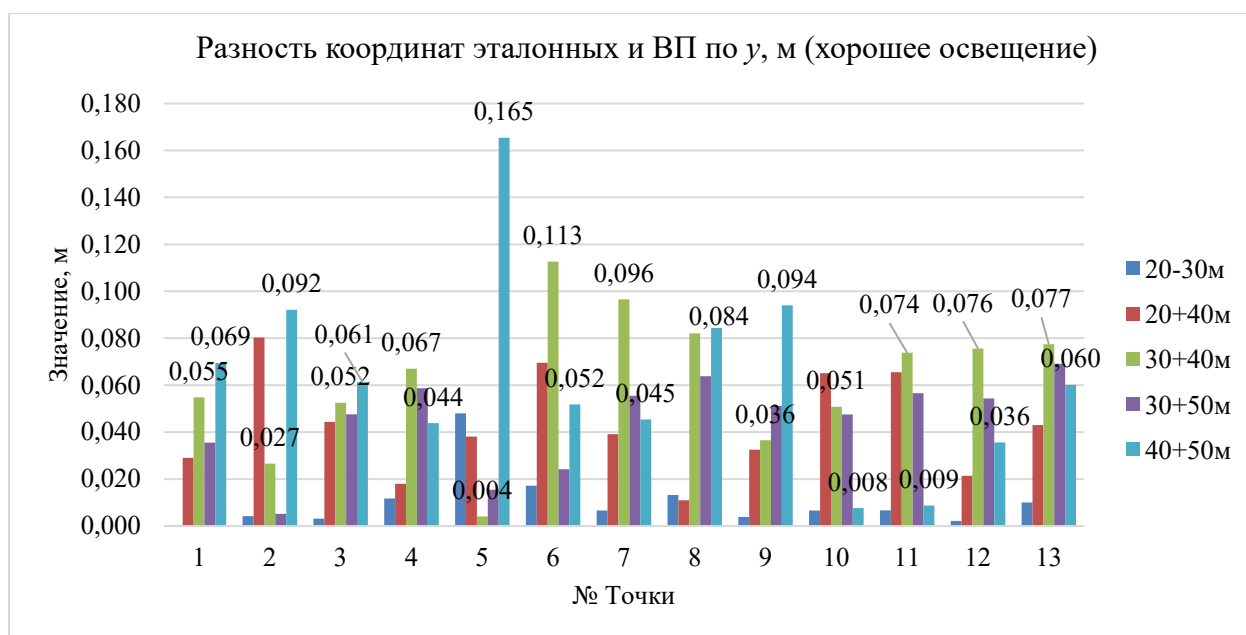


Рис. 8. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси у

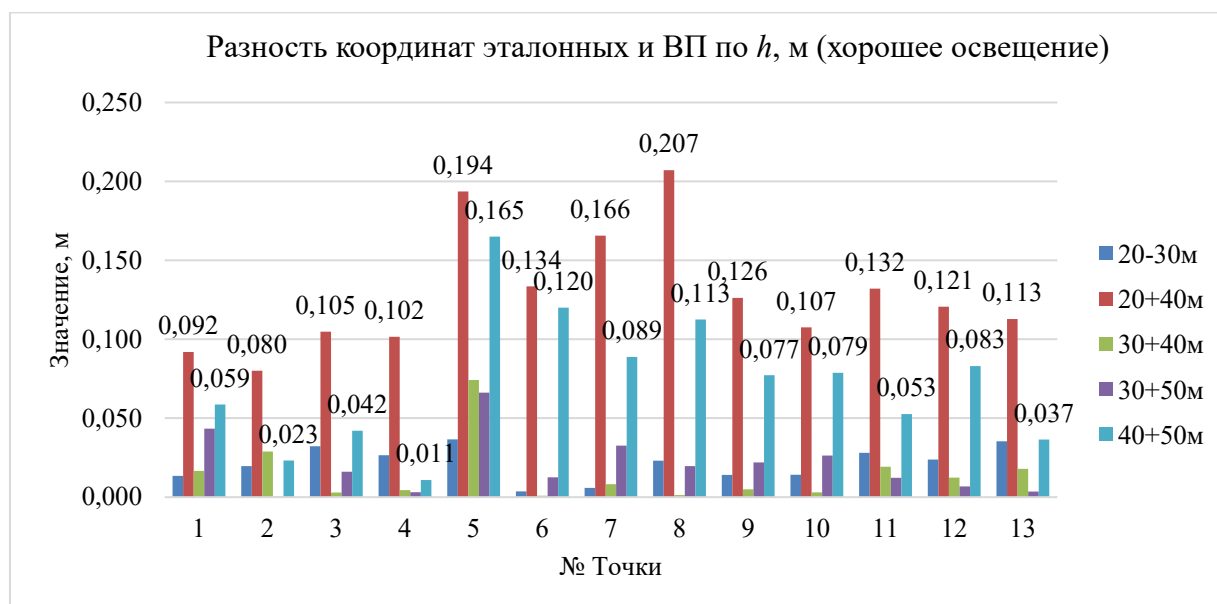


Рис. 9. Диаграмма отклонений координат точек ВП от эталонных по оси h

Из анализа диаграмм ясно, что освещенность объекта влияет на результат. Видно, что максимальные отклонения координат ВП от эталонных практически в 2 раза меньше, чем при плохой освещенности.

Точки под номерами 5, 6, 7, 8 показали наибольшее расхождение с эталонными. Причиной могут являться несколько факторов:

- факт расположения этих точек с краю групп изображений;
- засветка нескольких снимков из групп изображений.

Остальные точки показали меньшее отклонение.

Наилучший результат показала комбинация групп изображений 20+30 метров и в плане и по высоте. Группы изображений 20+40 метров и 40+50 показали наибольшие отклонения от эталонных координат.

Следует отметить, что за исключением точек 5, 6, 7 и 8, остальные не показывают разницу более чем на 10 см в плане и по высоте.

Заключение

Из анализа результатов экспериментальных измерений ясно, что хорошая освещенность координируемого объекта оказывает существенное влияние на результат вычисления координат с помощью ВП.

Исходя из полученных результатов, выполнение съемки с хорошей освещенностью значительно уменьшает вероятность получения большого расхождения с истинным положением объекта.

Рекомендуется выполнять съемку в режиме визуального позиционирования с хорошей освещенностью при съемке однотонных объектов т.к. повышение контрастности изображений за счет освещения поможет найти больше соответственных точек на снимках и получить более высокую точность.

Однако, в условиях недостаточной освещенности тоже можно получить точность от 5 до 10 см при соблюдении рекомендаций, сформированных ранее [5].

Благодарности

Выражается благодарность компании EFT Group в содействии и предоставлении необходимого для выполнения исследования оборудования и программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Сайт компании EFT Group. – Текст: электронный / URL: <https://eftgroup.ru/> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступ: общий доступ.
3. Сеть базовых станций EFT CORS. – Текст: электронный / URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.
4. Сайт компании Agisoft Metashape. – Текст: электронный / URL: <https://www.agisoft.com/> (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступ: общий доступ.
5. 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.
6. Аппаратура геодезическая спутниковая «EFT M5 RUS». Руководство по эксплуатации. М., 2023. – Текст: электронный/ URL: https://eftgroup.ru/upload/iblock/997/5lsffm30frwyio6vetj9khx53q3jpm4/RukovoDstvo_po_ekspluatatsii_EFT_M5_RUS.pDf (дата обращения: 20.04.2025). – Режим доступа: общий доступ.
7. ГКИНП 02-033-79 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – Утверждён: 05.10.1979 Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М. Недра, 1982

© Я. А. Некрестов, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. В. С. Беляков, М. А. Алтынцев. Автоматизация процесса паспортизации и технического учета автомобильных дорог	3
2. Д. В. Бирюков, Д. А. Баранников, А. М. Астапов. Исследование влияния наклона зрительной трубы цифрового нивелира на точность измерения превышения на станции.....	16
3. Л. Е. Сердаков, Н. А. Борщ, К. В. Паульзин. Геодезическое сопровождение монтажа физического оборудования перепускного канала электронного пучка «СКИФ»	22
4. А. В. Владыкина, Н. А. Немова, А. Н. Гришин. Особенности проектирования параметров буровзрывных работ при сооружении земляного полотна автодороги в сложных природных условиях.....	28
5. Д. Н. Волегжанин. О влиянии технических требований на результаты инженерно-геодезических изысканий.....	35
6. А. С. Горилько, Н. М. Рябова, А. Р. Якушева. Выполнение высокоточного полигонометрического хода короткими лучами для создания планового обоснования на техногенном геодинимическом полигоне	41
7. А. А. Гребенников. Применение мобильного лазерного сканера Goslam RS300 при выполнении маркшейдерско-геодезических работ на месторождениях, разрабатываемых открытым способом	48
8. А. А. Гребенников. Технологическая схема производства маркшейдерско-геодезических работ при определении пространственного положения ствола буровой скважины.....	59
9. В. С. Крапивин, А. В. Полянский, Л. Е. Сердаков. Монтаж и установка в проектное положение элементов бустерного синхротрона «СКИФ».....	66
10. Е. В. Минченко, Н. М. Рябова. Особенности инженерно-геодезических работ в условиях Крайнего Севера	73
11. Е. В. Минченко, М. В. Мурзинцева, К. С. Батырова. Применение технологии дополненной реальности для визуализации инженерных коммуникаций	81
12. М. В. Мурзинцева. Методика построения продольного профиля подземных коммуникаций при выполнении инженерных изысканий	86
13. Я. А. Некрестов. Исследование влияния изменения расстояния до координируемого объекта на точность визуального позиционирования EFT M5.....	93
14. А. В. Никонов. Создание внутрицеховой геодезической сети с применением отвесов	104
15. И. В. Павлов. Алгоритм обработки определения вертикальных отклонений стенок стальных резервуаров в зависимости от уровня заполнения нефтепродуктами.....	113

16. И. В. Павлов, В. И. Сергунцов. Методика создания обмерных чертежей объектов культурного наследия по данным наземного лазерного сканирования.....	121
17. В. Е. Терещенко, В. А. Машинец, Э. Э. Банщикова. Определение координат недоступной точки с помощью тахеометра и отражателя методом аппроксимации шара.....	128
18. М. С. Тутанова, С. П. Оленюк, Е. В. Кайгородова. Анализ построения поверхностей по материалам БПЛА	139
19. И. Г. Фюттик. Современные направления применения технологий искусственного интеллекта в сфере внутреннего водного транспорта	146
20. Е. Г. Гиенко, П. А. Гибадуллин. К вопросу согласованности координатных определений геодезических пунктов относительно различных сетей дифференциальных геодезических станций.....	155
21. И. Е. Дорогова, В. В. Курносов, Р. Ф. Гарифуллин. Исследование потенциала использования дифференциальных геодезических станций для изучения геодинамических процессов	164
22. Д. В. Крылов. Сравнительный анализ сетей дифференциальных геодезических базовых станций в России и за рубежом: проблемы развития и перспективы	171
23. Я. А. Некрестов. Исследование влияния освещенности на точность координирования в режиме визуального позиционирования EFT M5.....	181

CONTENTS

1. V. S. Belyakov, V. A. Altyntvev. Automation of the process of certification and technical accounting of motor roads.....	3
2. D. V. Biryukov, D. A. Barannikov, A. M. Astapov. Investigation of the effect of the tilt of the digital leveling telescope on the accuracy of elevation measurement at the station.....	16
3. L. E. Serdakov, N. A. Borshch, K. V. Paulzin. Geodetic Monitoring During Assembly of Physical Components in the «SKIF» Electron Beam Transfer Channel.....	22
4. A. V. Vladykina, N. A. Nemova, A. N. Grishin. Features of designing parameters of drilling and blasting operations in the construction of a roadbed in difficult natural conditions	28
5. D. N. Volegzhanin. On the impact of technical requirements on the results of engineering and geodetic surveys	35
6. A. S. Gorilko, N. M. Ryabova, A. R. Yakusheva. Performing high-precision polygonometric running with short beams to create a planning justification at a man-made geodynamic landfill	41
7. A. A. Grebennikov. Application of mobile laser scanner Goslam RS300 in surveying and geodesy works at open pit mines	48
8. A. A. Grebennikov. Technological scheme of surveying and geodesic works in determining the spatial position of the borehole hole	59
9. V. S. Krapivin, A. V. Polyanskiy, L. E. Serdakov. Assembly and alignment of the SKIF booster synchrotron.....	66
10. E. V. Minchenko, N. M. Ryabova. The features of engineering and geodetic works in the conditionsof the Far North.....	73
11. E. V. Minchenko, M. V. Murzintseva, K. S. Batyrova. Application of augmented reality technology for visualization of engineering communications	81
12. M. V. Murzintseva. Methodology of building a longitudinal profile of underground utilities during engineering surveys.....	86
13. Y. A. Nekrestov. Study of the influence of changing the distance to the coordinated object on the accuracy of visual positioning EFT M5	93
14. A. V. Nikonov. Development of intra-workshop geodetic network using plumbs	104
15. I. V. Pavlov. An algorithm for processing the determination of vertical deviations of the walls of steel tanks depending on the level of filling with petroleum products	113
16. I. V. Pavlov, V. I. Serguncov. The technique for creating dimensional drawings of cultural heritage objects based on the terrestrial laser scanning data ...	121

17. V. E. Tereshchenko, V. A. Mashinec, E. E. Banshchikova. Coordinates calculating of an unobtainable point with a tacheometer-reflector system using the sphere approximation method	128
18. M. S. Tutanova, S. P. Olenyuk, E. V. Kaigorodova. Analysis of the construction of surfaces based on UAV materials	139
19. I. G. Fyutik. Modern directions of application of artificial intelligence technologies in the field of inland waterway transport	146
20. E. G. Gienko, P. A. Gibadullin. On the issue of consistency of geodetic points coordinate definitions relative to various networks of continuously operated reference stations	155
21. I. E. Dorogova, V. V. Kurnosov, R. F. Garifullin. Research on the potential use of differential geodetic stations for studying geodynamic processes	164
22. D. V. Krylov. Comparative Analysis of Differential Geodetic Base Station Networks in Russia and Abroad: Development Challenges and Prospects	171
23. Y. A. Nekrestov. Study of the influence of changing the distance to the coordinated object on the accuracy of visual positioning EFT M5	181

Научное издание

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XXI Международный научный конгресс

Сборник материалов в 8 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 25.08.2025. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 11,21. Тираж 34 экз. Заказ 93.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 8.