

УДК 528.4

**КАЛИБРОВКА И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ
СЪЕМКЕ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

Логачева Д.О., студент гр. КНб-231, III курс, Матухненко Е.В., студент гр.
КНб-231, III курс

Научный руководитель: Винтер В.В., старший преподаватель кафедры АДиГК
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали популярными инструментами для самых разных видов съемок во многих сферах науки и производства [1]. В инженерно-геодезических изысканиях подземных коммуникаций, где могут присутствовать длинные линейные объекты важно минимизировать временные и финансовые затраты. Ведь имеющиеся в этом отношении десятки километров трубопроводов, кабелей и теплотрасс сопровождаются и информацией, часть которой отсутствует вовсе. Классические методы, используемые при геодезической съемке, то есть тахеометр и GPS, используются и при этом методе, и это работает, но это очень долгие и дорогие методы.

Последние несколько лет применение БПЛА стало неотъемлемой частью инженерно-геодезически съемок, они позволяют повысить производительность работ при сохранении необходимой точности.

Тахеометрическая съемка выполняется электронными тахеометрами и обеспечивает точность 1-3 мм в зависимости от класса прибора. Огромным недостатком является необходимость передвижения прибора на каждую станцию и визирование на отражатели [2].

Высокоточное спутниковое позиционирование в режиме RTK позволяет получать координаты с погрешностью всего 1-2 см в реальном времени. Такая точность достигается за счет использования поправок от базовой станции или сети опорных станций. Однако метод предъявляет жесткие требования в открытости пространства. Для надежной работы приемникам необходима прямая видимость спутников, что делает съемку проблематичной рядом с деревьями, зданиями и другими препятствиями.

Применение БПЛА для съемки подземных коммуникаций позволяет быстро получить актуальную информацию расположения всех надземных элементов системы, выявить несанкционированные постройки в охранных зонах, оценить состояние прилегающей территории и дорожной сети, создать фотопланы объекта.

БПЛА съемка обеспечивает достаточную точность 2-5 см в плане для большинства задач и создания планов масштаба 1:500. При необходимости она может быть дополнена локальными тахеометрическими измерениями.

Для повышения точности фотосъемки необходима калибровка камеры. Она позволяет определить фокусное расстояние, основную точку и искажения. Современные программные комплексы фотограмметрической обработки (Pix4D, Agisoft Metashape, DJI Terra) позволяют выполнять автоматическую калибровку камеры в процессе обработки снимков. Однако для достижения максимальной точности рекомендуется предварительная калибровка в лабораторных условиях [3].

Проверить можно следующим образом: несколько контрольных точек, не участвовавших в расчетах, измеряются методом геодезии, а их координаты сравниваются с координатами, полученными по изображениям [4].

Вариант съемки подземных коммуникаций – лазерный сканер (LiDAR). Обеспечивает создание высокдетализированных трехмерных моделей местности. Лазерный луч направляется на поверхность и измеряется расстояние до нее. Преимущества для съемки линейных объектов: высокая точность в условиях сложного освещения, возможность работы в сумерках и при облачности, проникновение через растительность для измерения рельефа [5].

Производительность является один из главных преимуществ БПЛА. Весь цикл, включая подготовку, саму работу, первичную обработку занимает 3-5 дней при длине маршрута 20-30 км, в то время как при использовании тахеометра на это затрачиваются недели (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение производительности методов съемки

Метод	Время на 1 га	Время на 10 км	Детализация
Тахеометр	8-10 часов	80-100 часов	Точечная
GPS RTK	4-6 часов	40-60 часов	Точечная
БПЛА	30-40 минут	3-5 часов	Сплошная

На практике для аэрофотосъемки применяются БПЛА весом до 10-15 кг. Это связано с тем, что при увеличении веса растет сложность разработки и соответственно стоимость, но снижается надежность и безопасность эксплуатации.

Экономический эффект применения БПЛА для линейных объектов составляет 80-90% снижения затрат по сравнению с классическими методами: стоимость съемки 1 км снижается с 15000-20000 рублей до 1000-2000 рублей.

Интеграция БПЛА с георадарами и LiDAR-системами открывает новые возможности для прямого обнаружения и высокоточного картографирования подземных коммуникаций.

Геодезия с использованием беспилотных летательных аппаратов — это не замена классической геодезии, а скорее комфортный и быстрый способ получения пространственных данных на большие площади. Если требуется высокая точность на миллиметр, то тахеометр по-прежнему незаменим, но в большинстве задач, связанных с эксплуатацией инженерных сетей, точности 2-5 см более чем достаточно. БПЛА не является прямой заменой, а скорее комфортным и быстрым способом получения пространственных данных в режиме реального времени на большие площади. RTK на борту беспилотника устранили необходимость в установке наземных опорных точек через каждые 200 м, а использование LiDAR решило проблему съемки сквозь растительность.

Список литературы:

1. Галкин, А. А. Применение БПЛА при выполнении инженерно-геодезических изысканий для газификации п. Зональная Станция. Выпускная квалификационная работа / А. А. Галкин – Томск, 2023. – 138 с. – Текст: электронный — URL: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/75943/1/TPU1468010.pdf> (Дата обращения 19.03.2026)
2. Таблица точности геодезических приборов: тахеометры, нивелиры, лазерные сканеры. — Текст: электронный // INNER: [сайт]. — URL: <https://inner.su/articles/tablitsa-tochnosti-geodezicheskikh-priborov-teodolity-niveliry-takheometry/> (Дата обращения: 19.03.2026).
3. Что происходит на рынке дронов, используемых в строительстве, в России в 2025 году. — Текст: электронный // Credo-Dialogue: [сайт]. – 2026. — URL: <https://credo-dialogue.ru/stati/chto-proishodit-na-rynke-dronov-ispolzuemyh-v-stroitelstve-v-rossii-v-2025-godu.html>. (Дата обращения: 19.03.2026).
4. Выполнение аэрофотосъемки беспилотными авиационными системами в кадастровой деятельности. // Национальная палата кадастровых инженеров: [сайт] – Москва, 2024. Текст: электронный. – URL: <https://ki-rf.ru/wp-content/uploads/2024/11/ver-2.7.3-%D0%A1%D0%A2%D0%9E-%D0%9A%D0%98-%D0%BD%D0%B0-%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D0%BE%D0%B1%D1%81%D1%83%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf> (Дата обращения 19.03.2026).
5. Антонов, А. Сканирующие лазерные дальнометры (LiDAR) / А. Антонов. — Текст: электронный // Современная электроника и технологии автоматизации: [сайт]. — 2015. — URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2016/2016-1/4475/> (Дата обращения: 19.03.2026).