

ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Антипова Т.Н., д-р техн. наук, профессор кафедры управления качеством и стандартизации ГБОУ ВО Московской области «Технологический университет дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев

Тубольцев М.Н., магистрант кафедры управления качеством и стандартизации ГБОУ ВО Московской области «Технологический университет дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев

В статье рассматривается метод получения цифровой модели местности при помощи воздушного лазерного сканирования, который ранее не применялся на таких типах строительных объектов как мелиоративные каналы. Данный метод позволяет уменьшить сроки проведения полевых работ, снизить стоимость и повысить безопасность полевых работ, автоматизировать полевые работы, а также обеспечить стабильную точность проводимых исследований. Даны рекомендации по применению цифровой модели местности для проектной документации по реконструкции Донского магистрального канала.

Ключевые слова: теодолитная съемка, воздушное лазерное сканирование, цифровая модель местности, цифровая модель рельефа, беспилотные авиационные системы.

Цитирование: Антипова Т.Н., Тубольцев М.Н. Воздушное лазерное сканирование для повышения качества топографических исследований // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 5 (86). С. 31–36.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия аэрофотосъемка, в частности воздушное лазерное сканирование (ВЛС) как вид топографических исследований, стала неотъемлемой частью многих научных и прикладных работ. Она позволяет получить детальную информацию о поверхности Земли, объектах и явлениях, которые находятся на значительных расстояниях от наблюдателя. Материалы воздушного лазерного сканирования являются одним из современных источников информации о местности при решении задач создания и обновления топографических карт и планов, получения других пространственных данных. Теодолитная съемка, традиционно имеющая широкую практику применения при проведении работ по реконструкции магистральных каналов, в том числе Донского, обладает такими недостатками, как высокая зависимость от особенностей рельефа местности и опыта геодезистов и – как следствие – значительное накопление ошибок по сравнению с воздушным лазерным сканированием. Кроме того, можно выделить следующие недостатки теодолитной съемки как метода.

Во время полевых работ геодезисту необходимо инструментально измерить весь интересующий участок и собрать

данные по ключевым точкам рельефа. В некоторых случаях наземная съемка может быть опасна для специалиста. Для проведения теодолитной съемки требуются большие затраты времени и в подсобные рабочие.

В то же время можно сделать выводы о следующих преимуществах беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для проведения ВЛС [1, 2]:

- наличие систем точного позиционирования;
- автоматизация полетов и технологии съемки;
- автоматизация полетного задания, включая маршрут полета [3];
- возможность установки дополнительного оборудования на БПЛА;
- возможность некоторых моделей дронов работать в неблагоприятных погодных условиях [4];
- возможность работать при низких температурах;
- мощная силовая установка и интеллектуальная система управления питанием;
- возможность выполнения длительных полетов;
- наличие интеллектуальных систем пилотирования;
- компактность и быстрота развертывания.

Для проведения воздушного лазерного сканирования на конкретном объекте необходимо выбрать тип беспилотного воздушного судна с целью получения цифровой модели местности [5] для включения в проектную документацию. Необходимо также обосновать различия между цифровой моделью местности (ЦММ) и цифровой моделью рельефа.

При практическом применении двух методов топографических исследований – теодолитной съемки и ВЛС – было проведено сравнение временных затрат каждого метода.

ВЫБОР ТИПА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

БПЛА являются одним из образцов инновационных технологий. Экономические показатели инновационных технологий часто являются главной целью их введения. В связи с этим необходимо, чтобы применяемые инновационные технологии не только решали узконаправленные задачи, но и способствовали повышению экономической эффективности производства [6, 7].

БПЛА классифицируются по типу конструкции: самолетного, вертолетного и мультироторного типа. В условиях небольших площадей и сложного рельефа наиболее эффективными являются мультироторные БПЛА. Они имеют вертикальный взлет и посадку, могут зависать в воздухе, что позволяет обеспечить стабильность проводимой съемки. Допустимая нагрузка на такие платформы доходит до 6–7 кг, что достаточно для размещения современных лидаров и камер высокого разрешения.

Применение беспилотных летательных аппаратов самолетного типа будет рентабельным, только если площадь исследуемого района превышает 700 Га. В случае с участком реконструкции Донского магистрального канала наиболее эффективным будет применение БВС мультироторного типа (дрона), поскольку площадь исследуемого участка равна 494 Га [6, 8].

Для задач воздушного лазерного сканирования наиболее подходят комплексы с электродвигателями, временем полета не менее 40 минут и наличием стабилизационных платформ. В качестве примера можно привести комплекс «Геоскан 401 Лидар» с оборудованием АГМ (AGM Systems) [9].

ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ

Существуют различия между цифровой моделью местности и цифровой моделью рельефа, а именно:

- цифровая модель рельефа представляет собой информацию о высоте непосредственно поверхности земли, очищенную от других объектов;

- ЦММ содержит точные данные о высоте земной поверхности, включая здания, растительность и другие высотные объекты.

Цифровая модель местности представляет собой комплексное электронное отображение местности, сочетающее данные о природных и искусственных объектах: рельефе, инженерных сетях, строениях и т. д. Цифровая модель местности обеспечивает структурированное представление информации, доступное для анализа с помощью компьютерных систем [10]. На рис. 1 представлено трехмерное облако точек для дальнейшей обработки в ЦММ.



Рис. 1. Пример трехмерного облака точек для построения ЦММ

Из этого можно сделать вывод, что ЦММ является более информативным продуктом и больше подходит для проектной документации по реконструкции Донского магистрального канала.

Учитывая специфику строительства и реконструкции мелиоративных каналов, применение ВЛС с использованием беспилотных летательных аппаратов для получения ЦММ как наиболее оптимального и точного источника пространственных данных является наиболее эффективным и экономически выгодным по сравнению с теодолитной съемкой.

В то же время необходимо учитывать ряд аспектов:

- на БПЛА устанавливается оборудование в виде лазерного датчика (лидара);

- лидар как средство измерения высокой точности нуждается в качественной гиropлатформе, качественном БПЛА. Любые колебания, связанные с вибрацией от моторов или иных компонентов БПЛА, недопустимы, поскольку существенно снижают точность и, как следствие, качество воздушного лазерного сканирования;

- погодные условия играют немаловажную роль в проведении любых работ, связанных с использованием БПЛА.

Основываясь на проведенном анализе и опыт других авторов [6, 9], можно сделать вывод о целесообразности применения беспилотных воздушных судов для получения ЦММ, поскольку такой метод имеет ряд преимуществ: уменьшение сроков проведения полевых работ, снижение стоимости полевых работ, повышение безопасности, автоматизация камеральных работ, автоматизация полевых работ, стабильная точность проводимых исследований.

СРАВНЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ МЕТОДОВ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧАСТКА ДОНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

Район работ, производимых на данном объекте, представляет собой извилистый «коридор» шириной 230–300 м, длиной 17,75 км и площадью 4,94 кв. км [5]. На рис. 2 представлен спутниковый снимок участка реконструкции Донского магистрального канала с выделением границы реконструкции (белая линия).

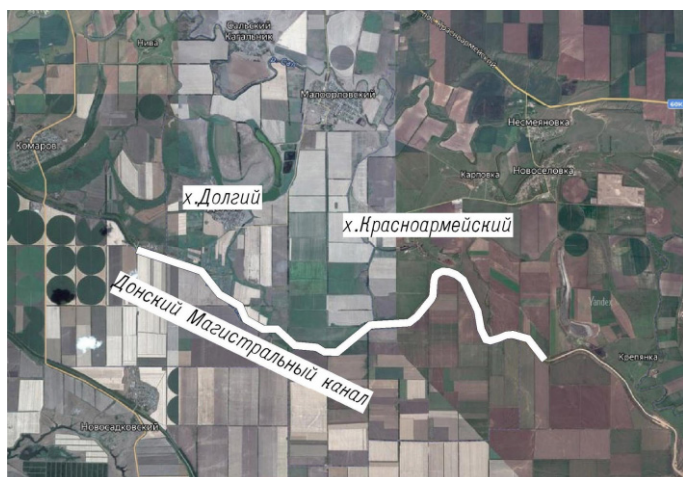


Рис. 2. Граница создания инженерно-топографического плана

На рис. 3 представлен детализированный план участка проведения работ на Донском магистральном канале.

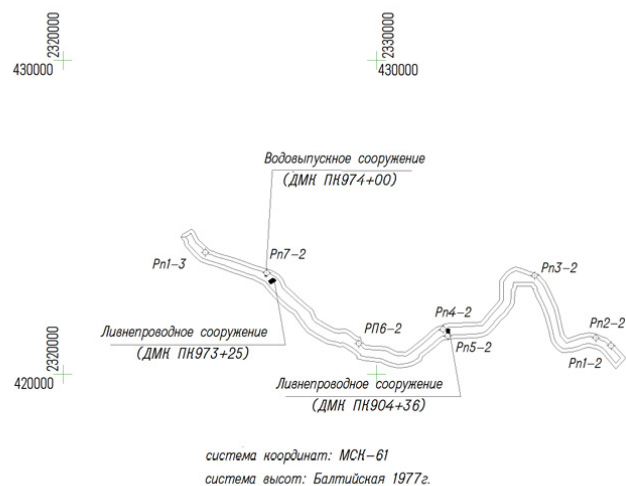
Следующим этапом исследования был проведен сравнительный анализ временных затрат каждого метода.

Для каждого из исследуемых методов составляется календарный план и диаграмма Ганта, показывающие сроки проведения этапов каждого из методов (см. табл. 1, табл. 2).

Далее составляется план-график проведенных работ (см. рис. 4).

Из анализа представленных диаграмм Ганта видно, что, например, полевые работы, как самый трудоемкий этап работ, при ВЛС сократились с 50 до 18 дней.

Россия, Ростовская область, Мартыновский р-н
масштаб 1:100 000



Условные обозначения:

- граница создания инженерно-топографического плана масштаба 1:2000
- граница создания инженерно-топографического плана масштаба 1:500
- пункт съемочного обоснования

Рис. 3. Детализированный план участка проведения работ

Таблица 1

Календарный план для воздушного лазерного сканирования

Наименование этапа	Дата начала	Продолжительность	Дата окончания
Подписание контракта	05.08.24	1	06.08.24
Получение разрешения на ИВП	07.08.24	20	27.08.24
Калибровочный полет	28.08.24	1	29.08.24
Полевые работы	30.08.24	18	16.09.24
Обработка результатов	17.09.24	4	20.09.24
Согласование инженерных коммуникаций	21.09.24	5	25.09.24
Разработка ЦММ	26.09.24	6	01.10.24
Составление отчетной документации	02.10.24	2	04.10.24
Итого	-	57	-

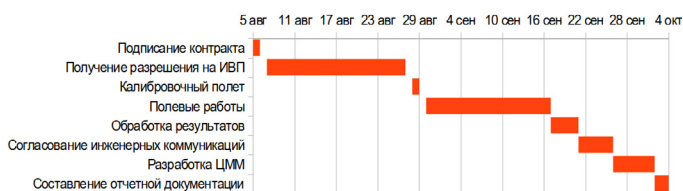


Рис. 4. Диаграмма Ганта для воздушного лазерного сканирования

Таблица 2
Календарный план для теодолитной съемки

Наименование этапа	Дата начала	Продолжительность	Дата окончания
Подписание контракта	03.05.23	1	04.05.23
Рекогносцировка местности	05.05.23	7	11.07.23
Полевые работы	12.05.23	50	30.06.23
Камеральные работы	01.07.23	20	20.07.23
Согласование инженерных коммуникаций	21.07.23	5	25.08.23
Составление отчетной документации	26.07.23	2	28.07.23
Итого	-	85	-



Рис. 5. Диаграмма Ганта для теодолитной съемки

Далее необходимо определить параметры полетной миссии: высоту, скорость, угол обзора и необходимое количество пролетов над заданной территорией для обеспечения требуемой плотности облака точек.

План полета формируется с учетом существующих инженерных коммуникаций и объектов, которые необходимо учитывать при реконструкции.

Перед измерительными полетами необходимо проводить калибровку датчиков, приемников спутниковых сигналов (GPS/ГЛОНАСС), инерциальных измерительных устройств, что необходимо для корректной геопривязки данных и точного позиционирования беспилотного летательного аппарата в пространстве.

Перед началом измерительных полетов необходимо выполнять привязку к нескольким опорным точкам государственной геодезической сети для дальнейшей оценки точности.

Перед проведением полевых работ необходимо разработать подробный план их организации, учитывая особенности объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ временных затрат показывает, что ВЛС обладает преимуществом перед теодолитной съемкой с точки зрения меньшего времени выполнения работ. Разница сроков проведения обоих видов топографических исследований составляет 28 дней.

Основываясь на проведенном анализе, можно сказать, что метод воздушного лазерного сканирования подходит для проведения топографических исследований на участке реконструкции Донского магистрального канала.

**Рецензент: Фролов Вадим Анатольевич, доктор технических наук, начальник отдела ФГБУ «Институт стандартизации», г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: v.a.frolov@gostinfo.ru**

Исходя из опыта применения ВЛС, даются следующие рекомендации.

Разрешение на использование воздушного пространства должно подаваться заблаговременно.

Рекомендуется использовать БПЛА с грузоподъемностью не менее 2 кг, способный стабильно удерживать лидер.

Перед непосредственным исследованием необходимо провести предварительный анализ местности с учетом особенностей рельефа, наличия водных объектов и растительности.

Список использованных источников и литературы / References

1. Гура Д.А., Дьяченко Р.А., Андрющенко А.В. Технология имитации полетного маршрута беспилотного летательного аппарата и воздушного лазерного сканирования // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2022. № 6. С. 126–133. / Gura D.A., Dyachenko R.A., Andryushchenko A.V. Tekhnologiya imitacii poletnogo marshruta bespilotnogo letatel'nogo apparata i vozdušnogo lazernogo skanirovaniya. Elektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal «Nauchnye trudy KubGTU». 2022, no. 6, pp. 126–133. (In Russ.).
2. Ахмедов А.Д., Бабаев Д.Э., Липский Д.Д., Пискунов А.В. Особенности применения геоинформационных систем в мелиорации // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3. С. 9. / Ahmedov A.D., Babaev D.E., Lipsky D.D., Piskunov A.V. Osobennosti primeneniya geoinformacionnyh sistem v melioracii. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2023, no. 3. P. 9. (In Russ.).
3. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Метод оптимизации построения маршрута движения группы беспилотных летательных аппаратов на основе выпуклой декомпозиции // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 3 (84). С. 88–97. / Buryi A.S., Shevkunov M.A. Metod optimizacii postroeniya marshruta dvizheniya gruppy bespilotnyh letatel'nyh apparatov na osnove vypukloj dekompozicii. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2025, no. 3 (84), pp. 88–97. (In Russ.).
4. Саломатин А.А. Анализ структур систем информационной поддержки транспортировки грузов с помощью гетерогенной группы БПЛА с учетом метеорологических условий // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. 2024. № 3. С. 92–101. / Salomatin A.A. Analiz struktur sistem informacionnoj podderzhki transportirovki gruzov s pomoshch'yu geterogennoj gruppy BPLA s uchetom meteorologicheskikh uslovij. Vestnik Doneckogo nacional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskie nauki. 2024, no. 3, pp. 92–101. (In Russ.).
5. Алтынов А.Е., Мохаммад А. Исследование влияния вариаций навигационных параметров съемочной системы (аэрофотосъемки, лазерного сканера) на точность создания ЦММ с помощью имитационного моделирования // Успехи современного естествознания. 2022. № 5. С. 110–120. / Altynov A.E., Mohammad A. Issledovanie vliyaniya variacij navigacionnyh parametrov s'emochnoj sistemy (aerofotos'emki, lazernogo skanera) na tochnost' sozdaniya CMM s pomoshch'yu imitacionnogo modelirovaniya. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2022, no. 5. pp. 110–120. (In Russ.).
6. Бабашкин Н.М., Кадничанский С.А., Нехин С.С. Сравнительный анализ эффективности аэрофототопографической съемки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем // Геопрофи. 2017. № 1. С. 14–19. / Babashkin N.M., Kadnichansky S.A., Nekhin S.S. Sravnitel'nyj analiz effektivnosti aerofototopograficheskoy s'emki s ispol'zovaniem bespilotnyh i pilotiruemyh aviacionnyh sistem. Geoprofi. 2017, no. 1, pp. 14–19. (In Russ.).
7. Астахов С.А., Швец Н.Н. Повышение экономической эффективности разработки и производства беспилотных авиационных систем на основе реализации Перспективной Программы стандартизации // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 1 (82). С. 4–9. / Astakhov S.A., Shvets N.N. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti razrabotki i proizvodstva bespilotnyh aviacionnyh sistem na osnove realizacii Perspektivnoj Programmy standartizacii. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2025, no. 1 (82), pp. 4–9. (In Russ.).
8. Инженерно-геодезические изыскания в соответствии с договором субподряда № 13/673 (1 очередь, I этап реконструкции). Мартыновский район, Волгодонской район, Ростовская область // Техническое задание на выполнение инженерно-геодезических изысканий. – Ростов-на-Дону, 2021. – 4 с. / Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya v sootvetstvii s dogovorom subpodryada No. 13/673 (1st stage, 1st stage of reconstruction). Martynovskij rajon, Volgodonskoj rajon, Rostovskaya oblast'. Tekhnicheskoe zadanie na vypolnenie inzhenerno-geodezicheskikh izyskanij. Rostov-na-Donu, 2021, 4 p. (In Russ.).
9. Опыт применения комплекса «Геоскан 401 Лидар» в качестве беспилотной топографической системы воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки [Электронный ресурс] // Geoscan: [сайт]. – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/blog/opyt-primeneniya-kompleksa-geoskan-401-lidar-v-kachestve-bespilotnoj-topograficheskoy-sistemy-vozdushnogo-lazernogo-skanirovaniya-i-aerofotosyemki> (дата обращения: 24.08.2025). / Opyt primeneniya kompleksa "Geoskan 401 Lidar" v kachestve bespilotnoj topograficheskoy sistemy vozdušnogo lazernogo skanirovaniya i aerofotos'emki. Available at: <https://www.geoscan.ru/ru/blog/opyt-primeneniya-kompleksa-geoskan-401-lidar-v-kachestve-bespilotnoj-topograficheskoy-sistemy-vozdushnogo-lazernogo-skanirovaniya-i-aerofotosyemki> (Accessed 24 August, 2025). (In Russ.).
10. Nikolakopoulos K.G., Soura K., Koukouvelas I.K., Argyropoulos N.G. UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies. Journal of Archaeological Science: Reports, 2017, no. 14, pp.758–773.

AERIAL LASER SCANNING TO IMPROVE THE QUALITY OF TOPOGRAPHIC SURVEYS

Antipova T.N., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Quality Management and Standardization, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University of Twice Hero of the Soviet Union, Pilot-Cosmonaut A.A. Leonov», Korolev

Tuboltsev M.N., Master's Student, Department of Quality Management and Standardization, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University of Twice Hero of the Soviet Union, Pilot-Cosmonaut A.A. Leonov», Korolev

The article discusses a method for obtaining a digital terrain model using airborne laser scanning, which has not previously been used on such types of construction projects as melioration canals. This method allows for reducing the time required for field work, reducing the cost and increasing the safety of field work, automating field work, and ensuring stable accuracy of the research conducted. Recommendations are given for the use of a digital terrain model for design documentation for the reconstruction of the Donskoy Main Canal.

Keywords: theodolite survey, aerial laser scanning, digital terrain model, digital terrain model, unmanned aircraft systems.

For citation: Antipova T.N., Tuboltsev M.N. Aerial laser scanning to improve the quality of topographic surveys. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2025; 5 (86): 31–36. (In Russ.).