

УДК 621.4:528.8

DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-64-72

## Мониторинг объектов нефтегазовой отрасли с помощью воздушного лазерного сканирования

М. М. Шляхова<sup>1</sup>, И. Ю. Лакеев<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «ПРИН», г. Москва, Российская Федерация

\*e-mail: ivanlakeev@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлена поэтапная методика выполнения воздушного лазерного сканирования территории кустовой площадки с беспилотного воздушного судна DJI Matrice 300. Методика включает в себя этапы планирования, выполнения съемки, обработки данных и оценки точности. Приведено описание процесса выполнения сканирования и основных шагов обработки полученных данных в программном продукте CoPro 2. Путем анализа профиля массива точек выполнена оценка точности, которая показала, что данные сканирования получены с абсолютной точностью, не превышающей 0,10 и 0,05 м в плане и по высоте, что соответствует заявленным производителем техническим характеристикам воздушного лазерного сканера AlphaAir 450. Сделаны выводы о применимости описанной методики использования воздушного лазерного сканирования с беспилотного воздушного судна в целях исследования объектов нефтегазовой отрасли.

**Ключевые слова:** беспилотное воздушное судно, воздушная лазерная съемка, методика обработки данных, оценка точности ортофотоплана, магистральный трубопровод, контроль, точность данных сканирования, активные методы зондирования

### *Введение*

Кустовые площадки относятся к объектам обустройства нефте- и газовых месторождений. Это специальная площадка территории месторождения, с расположенными на ней устьями скважин, технологическим оборудованием, эксплуатационными сооружениями, инженерными коммуникациями и другими составляющими технологической системы, необходимыми для освоения месторождения. При несоблюдении требований, выдвигаемых к эксплуатации технологических объектов, и нарушениях техники безопасности при проведении работ, возможны чрезвычайные ситуации, аварийные поломки, в ходе которых происходят разливы и утечки сырья [1–3]. Загрязнение почв и водных объектов продуктами нефтедобычи в значительной степени ухудшает состояние окружающей среды как в районах непосредственной добычи, так и на близлежащих территориях. Поэтому контроль за объектами нефтегазовой отрасли и получение актуальных данных об их состоянии является важной задачей [1, 4].

Оперативный мониторинг и исследование объектов нефтегазовой инфраструктуры, в том числе кустовых площадок, магистральных трубопроводов и защитных сооружений, требуют точного определения их геометрических характеристик [5–7]. Такую информацию возможно получить с помощью проведения аэросъемки с беспилотного воздушного судна (БВС) с установленным на борту воздушным лазерным сканером (далее – лидар) [8].

Материалы воздушного лазерного сканирования (ВЛС) позволяют получить трехмерные модели об объекте съемки. Методика, представленная в статье, основана на практическом опыте совместного использования БВС и лидара [9–12].

### *Методика выполнения работ*

На рис. 1 представлена методика выполнения воздушного лазерного сканирования с беспилотного воздушного судна для получения информации об объектах нефтегазовой отрасли [13–15].

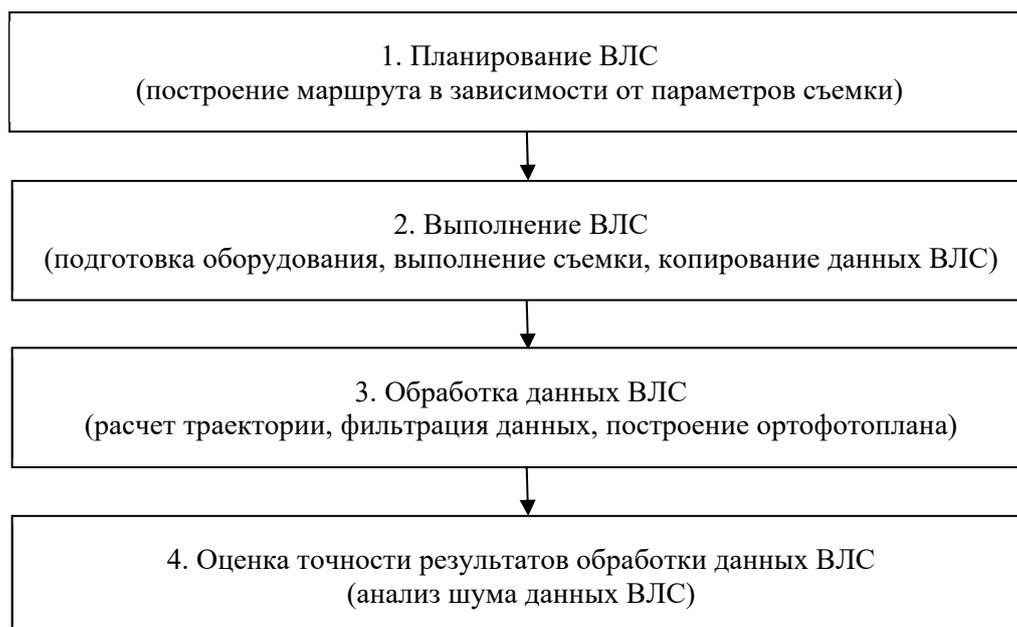


Рис. 1. Методика выполнения работ воздушного лазерного сканирования с БВС

Методика воздушного лазерного сканирования с БВС состоит из следующих блоков.

1. Планирование ВЛС заключается в планировании маршрутов съемки с БВС, исходя из площади объекта, перекрытия сканерных данных и скорости выполнения съемки.

2. Выполнение ВЛС. Съемка выполняется с настроенным оборудованием по запланированным маршрутам, с привязкой к базовой станции, записывающей «сырые» данные в формате HCN/RINEX.

3. Обработка данных ВЛС. Процесс обработки данных состоит из нескольких этапов:

- импорт полученных данных в результате съемки территории объекта (данные ВЛС, фотоснимки с геопривязкой, данные, полученные системами IMU и GPS);

- расчет траектории и выделение участков объекта для предобработки;

- предобработка данных, фильтрация данных;

- экспорт результата, окрашивание массива точек ВЛС;

- построение ортофотоплана.

4. Оценка точности результатов обработки данных ВЛС заключается в анализе шума точек лазерных отражений методом построения профилей.

### *Исходные материалы*

В рамках исследования представленной методики выполнена съемка с БВС на территорию строительства новой кустовой площадки в Нижневартовском районе Ханты-Мансийского автономного округа.

Исходя из методики работ, представленной на рис. 1, для получения исходных данных ВЛС использовано следующее оборудование:

- БВС DJI Matrice 300 (длительность полета с AlphaAir 450 при массе лидара 1,1 кг составляет 35 мин; скорость полета от 10 до 23 м/с);

- лидар AlphaAir 450 (AA450) производства CHCNAV, технические характеристики представлены в табл. 1;

- программный продукт для обработки данных ВЛС – CoPre 2, разработанный компанией CHCNAV.

Планирование маршрутов съемки выполнялось с помощью сервиса TeoFly. Была определена оптимальная траектория движения БВС, выгружен файл траектории в формате .kml, впоследствии импортированный в программное обеспечение для управления беспилотным воздушным судном – DJI Pilot.

Технические характеристики АА450

Технические характеристики	Значение
Точность по внешней сходимости без контрольных точек, план, мм	100
Точность по внешней сходимости без контрольных точек, высота, мм	50
Система ГНСС	GPS+ГЛОНАСС+BeiDou+Galileo+QZSS
Точность ориентации крен/тангаж, СКП, градус	0,005
Точность ориентации курс, СКП, градус	0,010
Разрешение цифровой камеры, Мп	26
Тип сканера	Livox Avia
Разрешение камеры, см	1,2 при высоте полета 50 м, 2,4 при высоте 100 м
Скорость сканирования, точек в секунду	720 000
Максимальная дальность сканирования, м	450
Относительная точность сканирования на 50 м, мм	30

Высота съемки составила 150 м при скорости полета БВС 10 м/с. Время выполнения воздушного лазерного сканирования составило 19 мин, общая площадь территории съемки – 34,5 га.

### Обработка данных

В результате выполнения воздушного лазерного сканирования были получены массивы точек, где каждая точка имеет трехмерные координаты и собственное значение интенсивности отражения, а также фотоснимки с геодезической привязкой их центров.

Следующим этапом работы, согласно предложенной методике, была обработка всех полученных исходных данных.

В программном обеспечении CoPre 2 с помощью встроенной утилиты «Копирование данных» были перенесены данные со сканера (данные лазерного сканирования, фотоснимки,

данные систем IMU и GPS лидара), после чего для обработки скопированного набора данных была создана задача с указанием пути к данным.

Следующим шагом в обработке был расчет траектории движения БВС.

На данном этапе задавались параметры базовой станции, записывающей «сырые» данные за весь период выполнения сканирования, координаты определялись в системе координат WGS-84, высоты полета и типа используемой антенны (рис. 2).

После расчета траектории были выделены требуемые участки для выполнения предобработки по заданным параметрам (фильтрация по углу, равному  $90^\circ$ , фильтрация массива точек в трехмерном пространстве в диапазоне 3–450 м и фильтр шума, равный 1 м), массивы точек, которые впоследствии были выведены в окно 3D-сцены для просмотра полученных результатов (рис. 3).



Рис. 2. Графическое отображение рассчитанной траектории

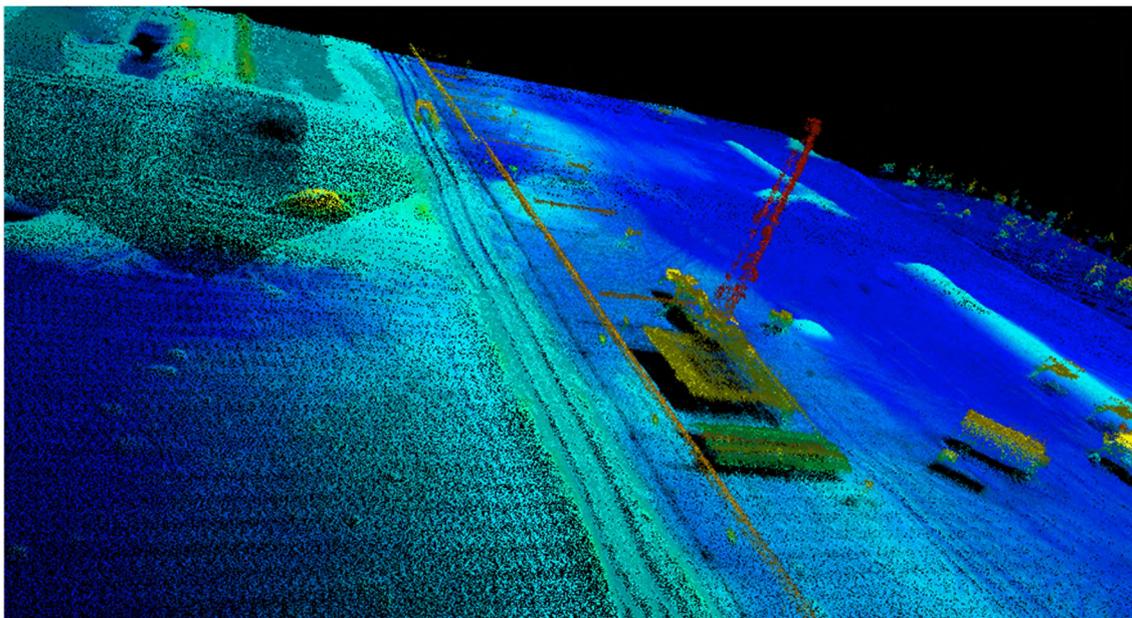


Рис. 3. Результаты предобработки в 3D-сцене

Для получения более точных результатов была выполнена процедура сшивки массива точек, которая заключалась в уменьшении шума и в соединении нескольких проектов. Вследствие воздействия внешних факторов, таких как погодные условия, могут быть получены данные сканирования, которые не удовлетворяют требуемой точности. Ввиду того, что в нашем случае условия были благоприятными и влияние погодных условий

было незначительным, сшивкой можно пренебречь (рис. 4).

Далее был выполнен экспорт результатов в формате .las и построен ортофотоплан с заданным размером пикселя 0,05 м (рис. 5).

Оценка точности по результатам экспорта проводилась методом вертикального профилирования через каждые 30 м, шириной профиля 0,30 м на участке длиной 210 м (рис. 6). Результаты оценки точности представлены в табл. 2.

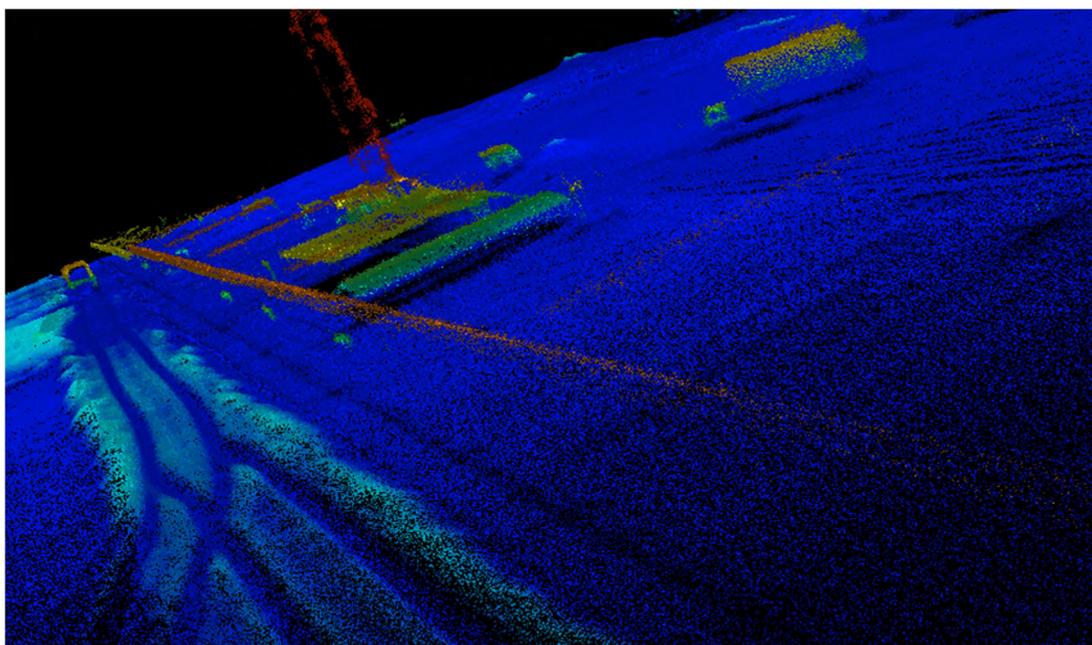


Рис. 4. Массив точек после выполнения сшивки



а)

б)

Рис. 5. Фрагменты массива точек с присвоенными реальными яркостными характеристиками:  
а) фрагмент 1; б) фрагмент 2

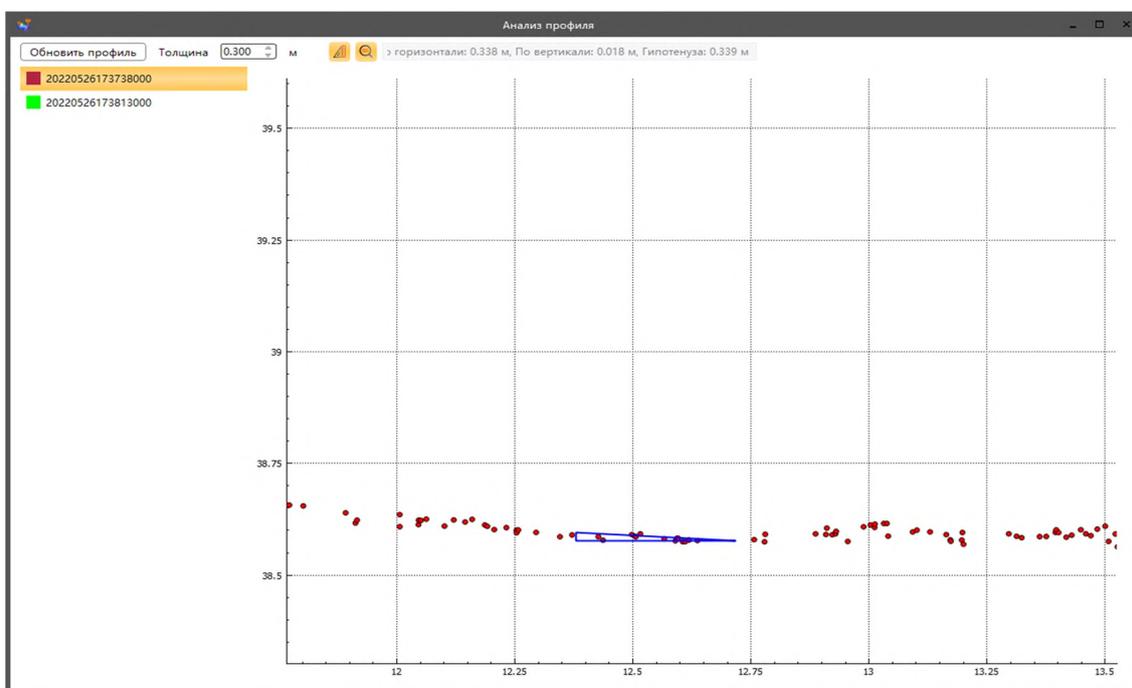


Рис. 6. Пример выполнения анализа профиля

Таблица 2

Оценка точности полученных результатов

Порядковый номер профиля	Вертикальная точность по внешней сходимости, м	Горизонтальная точность по внешней сходимости, м
1	0,028	0,057
2	0,031	0,064
3	0,049	0,053
4	0,036	0,068
5	0,018	0,068
6	0,042	0,070
7	0,029	0,062

По результатам оценки точности установлено, что полученные значения соответствуют заявленной производителем точности внешней сходимости без контрольных точек, по высоте – 0,05 м, в плане – 0,10 м.

Построенный по данным совместной обработки массива точек и фотоснимков ортофотоплан отличается высокой детализацией и резкостью (рис. 7).

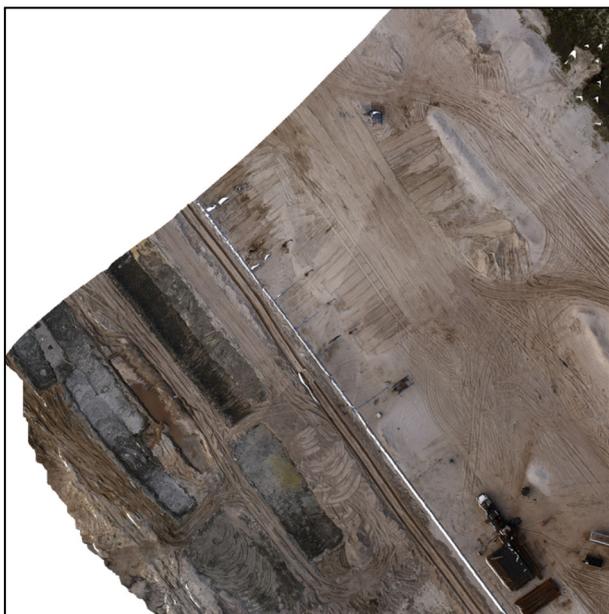


Рис. 7. Фрагмент готового ортофотоплана

### Заключение

Объекты инфраструктуры нефтяной промышленности относятся к объектам повышен-

ной опасности. Чрезвычайные ситуации и аварии на таких объектах могут нанести серьезный ущерб жизнедеятельности человека и окружающей среде, поэтому требуется регулярный мониторинг их технического состояния.

К основным задачам мониторинга объектов нефтегазовой отрасли с помощью воздушного лазерного сканирования относятся [2–4]:

- эффективное обнаружение разливов нефтепродуктов, незаконных врезок, возмещений и иных аварийных ситуаций;

- анализ состояния объектов нефтедобывающей инфраструктуры (технического состояния защитных сооружений, проведения ремонтных и строительных работ).

По результатам проведенного исследования установлено, что представленная методика выполнения воздушного лазерного сканирования с беспилотного воздушного судна позволяет получать данные с необходимой точностью для мониторинга объектов нефтегазовой отрасли. Построенный ортофотоплан обладает высокими изобразительными характеристиками и позволяет выполнять исследования технического состояния магистральных трубопроводов, защитных сооружений и иных объектов нефтегазовой отрасли с достаточной точностью [1].

Эффективность применения данной методики напрямую зависит от соблюдения всех требований, предъявляемых к выполнению ВЛС, что, в свою очередь, обеспечит высокую точность и качество получаемых материалов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комиссаров А. В., Шляхова М. М., Алтынцев М. А., Кулик Е. Н. Критерии контроля защитных сооружений магистральных трубопроводов // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 96–104.
2. Еськов Д. Ю., Шляхова М. М. Риски и причины развития аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопрограммное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сб. материалов IV Национальной научно-практической конференции в 3 ч. (Новосибирск, 17–19 ноября 2020 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. Ч. 2. – С. 28–33.
3. Дедкова В. В., Шляхова М. М. Мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов методами дистанционного зондирования // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы VII Международной научной конференции (Красноярск, 29 сент. – 2 окт. 2020). – Красноярск, 2020. – С. 192–195.

4. Шляхова М. М., Дедкова В. В. Перспективы применения аэросъемок для контроля защитных сооружений магистральных трубопроводов // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы VII Международной научной конференции (Красноярск, 29 сент. – 2 окт. 2020 г.). – Красноярск, 2020. – С. 316–319.
5. Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Метод активного дистанционного зондирования: лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 254 с.
6. Алябьев А. А., Иванов А. Е., Кобзев А. А., Никитин В. Н. Фотограмметрия в развитии городских агломераций // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 30–41.
7. Аврунев Е. И., Ямбаев Х. К., Опритова О. А., Чернов А. В., Гоголев Д. В. Оценка точности 3D моделей, построенных с использованием беспилотных авиационных систем // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 211–228.
8. Комиссаров А. В. и др. Исследование ручных трехмерных лазерных сканеров // Геодезия и картография. – 2019. – № 10. – С. 46–53.
9. Гусева Н. В., Чилингер Л. Н., Бирулина А. Г. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов при осуществлении муниципального земельного контроля на территории г. Томска // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 4. – С. 34–50.
10. Смирнов А. В., Скрыпицына Т. Н., Зубков С. А. Особенности фотограмметрической обработки съемки айсбергов, полученной с беспилотного воздушного судна // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 42–59.
11. Юрченко В. И. Особенности проектирования аэрофотосъемочных работ с беспилотного воздушного судна // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 65–81.
12. Дедкова В. В. Исследование точности формирования снимка камерами со шторно-щелевым затвором при съемке с беспилотных воздушных судов // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 54–60.
13. Алтынцев М. А. Привязка данных мобильного лазерного сканирования к результатам аэрофотосъемки на основе определения взаимного положения массивов точек // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 5–15.
14. Шляхова М. М., Дедкова В. В. Контроль состояния защитных сооружений магистральных трубопроводов по материалам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна Геоскан 401 // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы IX Международной научной конференции (Красноярск, 13–16 сент. 2022 г.). – С. 167–169.
15. Блищенко А. А., Санникова А. П. Применение беспилотных летательных аппаратов при маркшейдерском обеспечении съемки лесного фонда // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 42–51.

### Об авторах

*Мария Михайловна Шляхова* – кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования.

*Иван Юрьевич Лакеев* – инженер-геодезист отдела геодезического обеспечения и технической поддержки.

Получено 03.10.2022

© М. М. Шляхова, И. Ю. Лакеев, 2022

## Monitoring of oil and gas industry facilities using airborne laser scanning

*M. M. Shlyahova<sup>1</sup>, I. Yu. Lakeev<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk,  
Russian Federation

<sup>2</sup> OA «PRIN», Moscow, Russian Federation

\* e-mail: ivanlakeev@yandex.ru

**Abstract.** The article presents a progressive method for performing aerial laser scanning of the territory of a well pad from an unmanned aerial vehicle DJI Matrice 300. The method includes the stages of planning, surveying, data processing and accuracy assessment. A description of the scanning process is given with a complete description of the experimental part and the main steps for processing the obtained data in the

CoPre 2. By analyzing the profile of the point cloud, an accuracy assessment was made, which showed that the array of scanning points was obtained with an absolute accuracy not exceeding 0.10 and 0.05 m in terms of height, respectively, which, in turn, fit into the technical characteristics of the AlphaAir 450 mobile laser scanner declared by the manufacturer. The applicability of the described technique for using aerial laser scanning from an unmanned aircraft to study oil and gas industry objects is summed up.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, laser aerial survey, data-processing technique, orthophoto accuracy assessment, main pipeline, check control, accuracy laser scan data, active methods of remote sensing

## REFERENCES

1. Komissarov, A. V., Shljahova, M. M., Altyntsev, M. A., & Kulik, E. N. (2022) Criteria for protective construction monitoring of main pipelines. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 96–104 [in Russian].
2. Eskov, D. Ju., & Shlakhova, M. M. (2021). Risks and causes of accidents on main pipelines. (2021). In *Sbornik materialov IV Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Ch. 2. Regulirovanie zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya [Proceedings of the IV National Scientific and Practical Conference: Part 2. Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions]* (pp. 28–33). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
3. Dedkova, V. V., & Shlyahova, M. M. (2020). Monitoring of oil pipelines technical state by remote sensing methods. In *Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Proceedings of the VII International Scientific Conference: Regional Problems of Remote Sensing of the Earth]* (pp. 192–195). Krasnoyarsk [in Russian].
4. Shlyahova, M. M., & Dedkova, V. V. (2020). Prospects of aerial survey application for monitoring of state of protection structures of oil pipelines. In *Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Proceedings of the VII International Scientific Conference: Regional Problems of Remote Sensing of the Earth]* (pp. 316–319). Krasnoyarsk [in Russian].
5. Komissarov, A. V., & Altyntsev, M. A. (2020). *Metod aktivnogo distantsionnogo zondirovaniya: lazernoe skanirovanie [Active remote sensing method: laser scanning]*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 254 p. [in Russian].
6. Alyabyev, A. A., Ivanov, A. E., Kobzev, A. A., & Nikitin, V. N. (2022). Photogrammetric technology for urban area development. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(1), 30–41 [in Russian].
7. Avrunev, E. I., Yambaev, K. K., Opritova, O. A., Chernov, A. V., & Gogolev, D. V. (2018). Assessment of the accuracy of 3D-models built using unmanned aircraft systems. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 211–228 [in Russian].
8. Komissarov, A. V., & et al. (2019). Research of hand-held three-dimensional laser scanners. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 46–53 [in Russian].
9. Guseva, N. V., Chilinger, L. N., & Birulina, A. G. (2022) Experience in the use of unmanned aerial vehicles in the implementation of municipal land control in the territory of Tomsk. *Izvestia vuzov. Geodeziya I aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 66(4), 24–50 [in Russian].
10. Smirnov, A. V., Skrypicyna, T. N., & Zubkov, S. A. (2022). Features of photogrammetric processing of iceberg survey obtained from an unmanned aerial vehicle. *Izvestia vuzov. Geodeziya I aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 66(3), 42–59 [in Russian].
11. Yurchenko, V. I. (2021). Design peculiarities of the aerial photography from an unmanned aircraft. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), 65–81 [in Russian]
12. Dedkova, V. V. Study of the accuracy of UAV images captured by rolling shutter cameras. (2022). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(4), 54–60 [in Russian].
13. Altyntsev, M. A. (2022). Mobile laser scanning data registration using aerial photography results based on computing relative position of point clouds. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(4), 5–15 [in Russian].
14. Shlyahova, M. M., & Dedkova, V. V. (2022). Monitoring of the main pipelines' protective structures based on aerial survey from Geoscan 401 UAV. In *Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoy nauch-*

*noy konferentsii: Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Proceedings of the IX International Scientific Conference: Regional Problems of Remote Sensing of the Earth] (pp. 167–169). Krasnoyarsk [in Russian].*

15. Blishchenko, A. A., & Sannikova, A. P. (2022). Analysis of the possibility of surveying the forest fund using UAVS. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(1), 42–51 [in Russian].

#### **Author details**

*Mariya M. Shlyahova* – Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing.

*Ivan Yu. Lakeev* – Surveyor Engineer, Department of Geodetic Support and Technical Support.

Received 03.10.2022

© *M. M. Shlyahova, I. Yu. Lakeev, 2022*