УДК 528.8:622.1

Москаленко К.Ю., аспирант
(КузГТУ, г. Кемерово)
Moskalenko K.Yu., postgraduate student
(KuzSTU, Kemerovo)

Научный руководитель
Гоголин В.А., д.т.н., профессор
Scientific advisor
Gogolin V.A., doctor of technical sciences, professor

ЛАЗЕРНЫЕ СКАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

LASER SCANNING SYSTEMS USED IN OPEN-PIT MINING OPERATIONS

Аннотация

В статье рассмотрены особенности применения наземного (НЛС), воздушного (ВЛС) и мобильного лазерного сканирования (МЛС) при открытой разработке полезных ископаемых. Описаны принципы получения пространственных данных и основные этапы обработки облаков точек. Отдельное внимание уделено возможностям использования результатов сканирования при выполнении маркшейдерских работ и построении цифровых моделей карьера.

Annotation

The article examines the features of applying terrestrial (TLS), airborne (ALS), and mobile laser scanning (MLS) in open-pit mining. It describes the principles of spatial data acquisition and the main stages of point cloud processing. Special attention is paid to the possibilities of using scanning results in mine surveying and building digital pit models.

Открытый способ добычи полезных ископаемых является наиболее распространенным: в мире им извлекается около 80% всех твердых полезных ископаемых, а в России на его долю приходится более 75% объемов добычи. Большинство новых месторождений проектируются под открытую разработку, что обеспечивает более высокую экономическую эффективность и производительность по сравнению с подземным способом добычи.

Основной задачей маркшейдерской службы является оперативная актуализация планов горных работ. Съемка бортов карьера, рабочих площадок и транспортных берм выполняется комбинированным методом с приоритетным использованием технологий лазерного сканирования, что позво-

ляет повысить точность измерений и сократить время полевых работ в 10–20 раз по сравнению с тахеометрией [1].

Лазерное сканирование представляет собой метод дистанционного зондирования, основанный на измерении времени распространения лазерного импульса или сдвига фазы сигнала от сканера до объекта и обратно.

Результатом работы сканирующей системы является облако точек, где каждая точка характеризуется пространственными координатами (X, Y, Z), интенсивностью отраженного сигнала, а также, дополнительными атрибутами, такими как цвет (RGB), спектральные характеристики или временные метки.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) является методом стационарной съемки, выполняемой с фиксированных точек стояния, обычно с использованием штатива или стационарных опор [2].

Технология сканирования основывается на выборе оптимальных точек стояния, обеспечивающих максимальное покрытие объекта и прямую видимость на световозвращающие марки, необходимые для последующей сшивки сканов [3-5].

Эффективность съемки напрямую зависит от параметров поля зрения прибора. Наземный лазерный сканер RIEGL VZ-4000 (рисунок 1) обладает панорамным охватом в 360° по горизонтали и 60° по вертикали, что позволяет минимизировать количество перестановок оборудования.



Рисунок 1 - Наземный лазерный сканер RIEGL VZ-4000

При этом схема размещения сканера всегда определяется конфигурацией объекта. Например, при съемке дорог важно учитывать угол падения лазерного луча: на значительном удалении от прибора, когда луч проходит почти параллельно полотну, интенсивность отраженного сигнала снижается, что ведет к падению плотности облака точек (рисунок 2) [5-8].

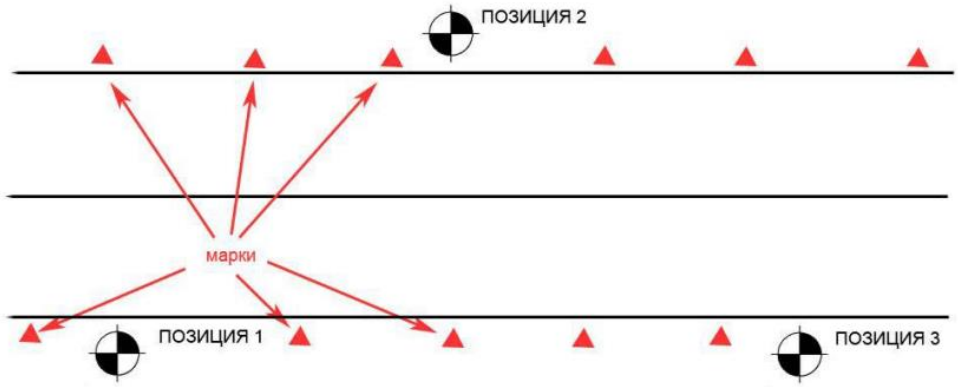

Рисунок 2 - Схема расстановки сканера при производстве работ на линейно-протяженных объектах

Для исключения «мертвых зон» съемка ведется с нескольких точек стояния. При планировании сети станций предусматривают взаимное перекрытие соседних сканов, необходимое для их последующего объединения [9]. Обработка результатов измерений выполняется в специализированном программном обеспечении RiSCAN PRO (рисунок 3).

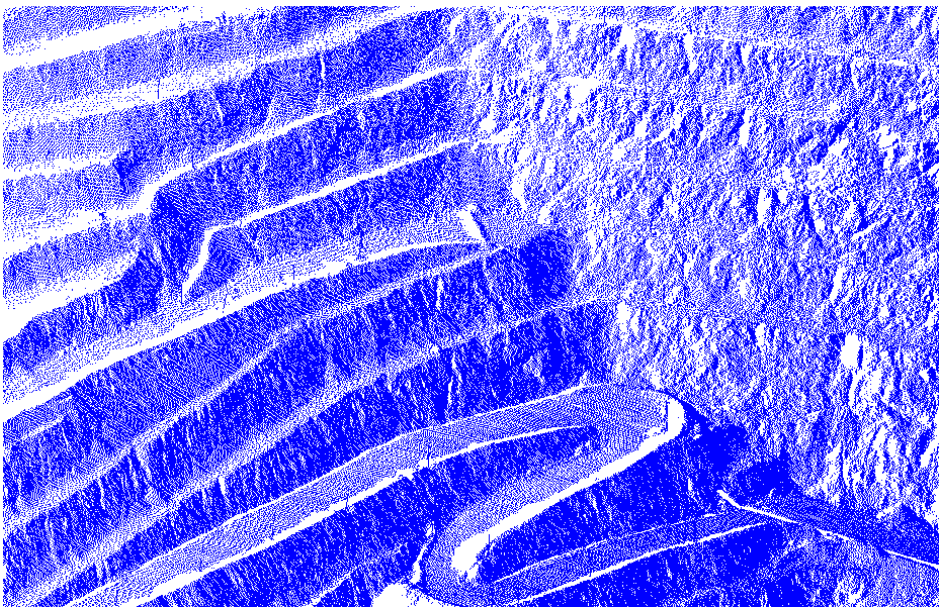

Рисунок 3 - Визуализация облака точек, полученного с помощью системы наземного лазерного сканирования RIEGL VZ-4000

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС) выполняется с размещением сканирующей системы на беспилотном летательном аппарате. Координаты отражающих точек рассчитываются по измеренным наклонным расстояниям с учётом положения и пространственной ориентации платформы. Для этого используют данные о траектории полёта, а также углах крена, тангажа и рыскания [10-11].

При выполнении воздушного сканирования с использованием DJI Matrice 350 RTK (рисунок 4) параметры полёта выбирают с учётом характеристик установленного лидара и требуемой плотности облака точек. Для объединения данных соседних полос предусматривают их поперечное перекрытие в пределах 20–40%. Продольное перекрытие для лидара не является критическим параметром в отличие от фотограмметрии, так как плотность данных регулируется частотой импульсов и скоростью полета. Охват территории за один вылет может достигать 150–500 га, а плотность облака точек варьируется от 10–50 до 150–200 точек/м² при выполнении полетов на высоте до 120 м [12-14].



Рисунок 4 - Беспилотный летательный аппарат
DJI MATRICE 350 RTK

Обработка результатов воздушного сканирования выполняется в программном комплексе DJI Terra (рисунок 5). В нём формируется облако точек и задаются параметры прореживания.



Рисунок 5 - Визуализация облака точек, полученного с помощью системы воздушного лазерного сканирования DJI MATRICE 350 RTK

Мобильное лазерное сканирование (МЛС) — это динамический метод получения пространственных с движущейся платформы. Сканирующее оборудование может устанавливаться на автомобили или носимые рюкзаки, а также использоваться как автономный ручной сканер [15].

Система мобильного лазерного сканирования GoSLAM RS100S (рисунок 6) объединяет в себе: многолучевой лидар, GNSS-приемник, инерциальную систему IMU для отслеживания наклонов и ускорений, а также одометр для уточнения пройденного пути.

В условиях слабого спутникового сигнала применяется технология SLAM. Алгоритм сопоставляет последовательно получаемые облака точек с ранее сформированными участками карты и по результатам сопоставления оценивает положение сканера [15].



Рисунок 6 - Мобильный лазерный сканер GoSLAM RS100S

Камеральная обработка полевых измерений выполняется в программном обеспечении GoSlam LidarWorks (рисунок 7). В программу загружают исходные данные, после чего выполняют фильтрацию шумов, построение каркасных моделей.

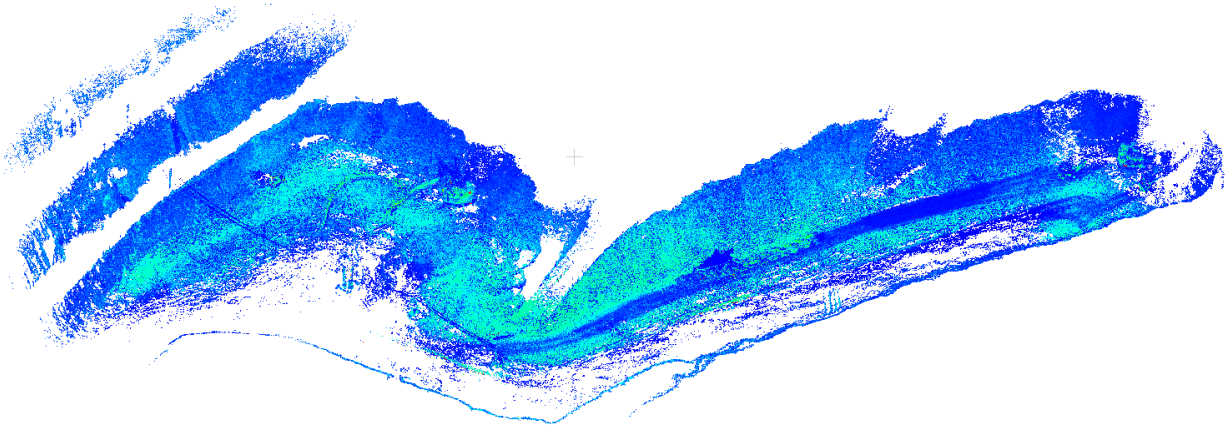

Рисунок 7- Визуализация облака точек, полученного с помощью системы мобильного лазерного сканирования GoSLAM RS100S

Опыт эксплуатации показал, что системы воздушного и мобильного лазерного сканирования используются гораздо чаще наземного, поскольку точки стояния не всегда позволяют обеспечить прямую видимость на весь участок работ. Однако воздушное лазерное сканирование является наиболее эффективным методом, поскольку исключает присутствие персонала в рабочей зоне и требует минимальных временных затрат. В условиях сурового климата мобильное лазерное сканирование становится незаменимым при сильном ветре и большом количестве осадков. При этом наземное лазерное сканирование применяется для съемки больших по площади территорий при условии обеспечения прямой видимости на объект. Поэтому выбор системы лазерного сканирования должен быть гибким и зависеть от конкретных условий и задач.

Список литературы

1. Москаленко К. Ю. Технологии лазерного сканирования в комплексе маркшейдерского обеспечения открытых горных работ на золоторудном месторождении // Маркшейдерия и недропользование. – 2026. – № 5 (26). – С. 22–29.

2. Комиссаров А. В. Обоснование направлений использования данных цифровой съемки при наземном лазерном сканировании // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 1 (33). – С. 95–100.

саров, Д. В. Комисса ров, Т. А. Широкова: монография. – Новосибирск: СГГА, 2003. Наземное лазерное сканирование / А. В. Середович, А. В. Комис 9. – 261 с.

4. Наземное лазерное сканирование объектов промышленных площадок на территории нефтегазовых месторождений / В. А. Бударова, Н. Г. Мартынова, А. В. Шереметинский, А. В. Привалов. // Московский экономический журнал. – 2019. – № 6. – С. 8–14.

5. Gordon, S. Measurement of Structural Deformation using Terrestrial La-ser Scanners / S. Gordon, D. Lichti, J. Franke, M. Stewart // 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering. – Nottingham, U. K, 2004. – 16 pp.

6. Шульц Р. В. Наземное лазерное сканирование в задачах инженерной геодезии. – Гер мания: Palmarium Academic Publishing, 2013. – 339 с.

7. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного ла зерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 131–139.

8. Новоселов Д. Б. Применение наземных лазерных сканеров при геодезическом сопровождении строительства горнодобывающих промышленных предприятий // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022.

9. Кротенок А.Ю., Шурыгин Д.Н., Литовченко Т.В. и др. Фотограмметрическая обработка изображений на основе беспилотных летательных

аппаратов и наземного лазерного сканирования при проектировании открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017.

10. Оника С.Г., Куликовская О.Е., Атаманенко Ю.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения инженерных задач маркшейдерии и геодезии // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 15-21.

11. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2018. – № 9 (81). – С. 1-22. 4.

12. Писарев В.С., Ахмедов Б.Н., Басаргин А.А. Анализ способов сбора геоданных при геодезическом сопровождении горных работ // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 197-202. 5.

13. Блищенко А.А. Использование геодезических приборов на открытых горных работах, тенденция применения беспилотных технологий // Colloquium-journal. – 2020. – № 14-2 (66). – С. 4-5.

14. Сарычев Дмитрий Сергеевич Мобильное лазерное сканирование // ООО «ИндорСофт». 2013. №1 (1).

15. Кузьмин Т.В., Васильев М.Д., Голубко Б.П. Наземное и мобильное лазерное сканирование в маркшейдерской съёмке при разработке месторождений открытым способом. В кн.: Уральская горная школа-регионам: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Екатеринбург, 6–7 апреля 2020 г. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет; 2020. С. 241–242.