

Р. Е. Калиакпаров¹✉

Мобильное лазерное сканирование горных выработок с использованием LiDAR в смартфоне

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. В работе рассматривается возможность применения встроенных LiDAR-сенсоров современных смартфонов, в частности iPhone 16 Pro, для оперативного трехмерного сканирования горных выработок после проведения оборки кровли. Основная проблема связана с отсутствием в критические моменты специализированного лазерного оборудования, необходимого для точного контроля геометрии выработок, оценки устойчивости кровли и определения объемов обрушившейся горной массы. Цель исследования заключалась в определении пригодности мобильного LiDAR-сканирования для экспресс-получения 3D-моделей и последующей оценки фактического объема выпадения породы. Методика включала выполнение съемки участка выработки с использованием LiDAR-датчика смартфона, построение облака точек и анализ полученной модели с применением базового программного обеспечения. Результаты показали, что при должном соблюдении техники съемки смартфон обеспечивает достаточную детализацию для предварительной оценки деформаций кровли и ориентировочного расчета объемов обрушения. Несмотря на меньшую точность по сравнению с профессиональными сканерами, мобильное решение подтвердило свою эффективность в условиях ограниченной доступности оборудования и необходимости быстрого получения данных. Основным выводом является то, что LiDAR-сенсоры смартфонов могут служить практичным инструментом для оперативной технической диагностики состояния горных выработок, обеспечивая приемлемое качество данных для экспресс-анализа и поддерживая принятие решений в полевых условиях.

Ключевые слова: трехмерное сканирование, LiDAR, горные выработки, оборка кровли, подсчет объемов, облако точек, экспресс-съемка, геометрический контроль

R. E. Kaliakparov¹✉

Mobile laser scanning of mine workings using Li-DAR in a smartphone

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. This study examines the feasibility of using built-in LiDAR sensors in modern smartphones, specifically the iPhone 16 Pro, for rapid 3D scanning of mine workings after roof scaling. The primary challenge is the lack of specialized laser equipment at critical moments, which is necessary for precise inspection of working geometry, assessing roof stability, and determining the volume of rockfall. The objective of the study was to determine the suitability of mobile LiDAR scanning for rapidly generating 3D models and subsequently estimating the actual volume of rock fall. The methodology involved surveying a section of the working using a smartphone's LiDAR sensor, constructing a point cloud, and analyzing the resulting model using basic software. The results showed that, with proper survey technique, a smartphone provides sufficient detail for a preliminary assessment of roof deformations and an approximate calculation of rockfall volumes. Despite its lower accuracy compared to professional scanners, the mobile solution has proven its effectiveness

in conditions with limited equipment availability and the need for rapid data acquisition. The key conclusion is that smartphone LiDAR sensors can serve as a practical tool for rapid technical diagnostics of mine workings, providing acceptable data quality for rapid analysis and supporting decision-making in the field.

Keywords: 3D scanning, LiDAR, mine workings, roof cladding, volumetric calculation, point cloud, express survey, geometric control

Введение

Современные технологии трехмерного лазерного сканирования широко применяются в горнодобывающей промышленности для контроля геометрии выработок, оценки устойчивости кровли, подсчета объемов добытой или обрушившейся горной массы, а также для документирования состояния горных сооружений.

Традиционно для этих целей используются специализированные лазерные сканеры, обеспечивающие высокую точность измерений и плотность точек. Такие устройства отличаются высокой стоимостью, требуют специальной подготовки оператора и не всегда доступны на удаленных или временных участках горных работ.

На практике возникают ситуации, когда оперативно требуется получить трехмерную модель участка выработки – например, для оценки состояния кровли после проведения оборки, то есть после удаления нависающих или ослабленных пород, представляющих опасность для горняков и оборудования, контроля объемов обрушения, планирования крепежных мероприятий или составления отчетной документации. Если в этот момент профессионального сканирующего оборудования нет под рукой, возникает необходимость поиска альтернативных способов съемки.

Одним из таких решений является использование встроенных LiDAR-сенсоров, присутствующих в современных моделях смартфонов. В частности, смартфон iPhone 16 Pro оснащен компактным лазерным сканером, предназначенным для оценки расстояний и построения пространственных моделей. Хотя точность таких сенсоров значительно уступает стандартным геодезическим приборам, их использование может быть оправдано для экспресс-съемки и предварительных расчетов.

В рассматриваемом случае потребность в измерениях возникла после проведения оборки кровли и установки самозакрепляющихся анкеров с армокаркасом. При визуальной оценке состояния кровли возникло предположение, что объем выпавшей горной массы оказался существенно больше ожидаемого. Для уточнения ситуации было принято решение выполнить 3D-сканирование участка с помощью LiDAR-датчика смартфона.

Таким образом, целью работы является исследование возможности применения LiDAR-сканера iPhone 16 Pro для оперативного сканирования горной выработки и расчета объема выпавшей горной массы в условиях отсутствия стандартного геодезического оборудования.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- выполнить сканирование участка кровли с помощью встроенного LiDAR-сенсора смартфона.
- обеспечить геодезическую привязку полученных данных с использованием марок с известными координатами.
- обработать полученное облако точек и рассчитать объем выбравшейся горной массы.
- оценить точность и практическую применимость предлагаемого способа съемки для подземных условий.

Методы и материалы

Сканирование выполнялось в подземной горной выработке после проведения оборки кровли и установки самозакрепляющихся анкеров с армокаркасом. После визуального осмотра возникло подозрение, что объем выпавшей горной массы оказался значительно выше прогнозного. Необходимость в определении фактического объема появилась для уточнения данных по устойчивости кровли, а также для оценки объема вывезенной горной массы [1, 2].

Поскольку на участке в момент осмотра отсутствовал профессиональный лазерный сканер, было принято решение использовать встроенный LiDAR-сканер смартфона. Основная задача исследования заключалась в том, чтобы проверить, можно ли получить достаточно точную трехмерную модель выработки и на ее основе рассчитать объем обрушения [3].

Перед началом измерений были выполнены следующие подготовительные мероприятия:

- на стенах и кровле в зоне съемки были наклеены ориентирные марки (самоклеющиеся метки контрастного цвета, (рис. 1), предназначенные для последующей калибровки и геодезической привязки модели.



Рис. 1. Отражающая марка 50 мм на 50 мм.

- координаты марок определены с помощью тахеометра Leica TS10, (рис. 2), привязанного к существующей маркшейдерской сети выработки. Это позволило задать пространственную систему координат, в которой впоследствии можно было «посадить» облако точек, полученное при сканировании.

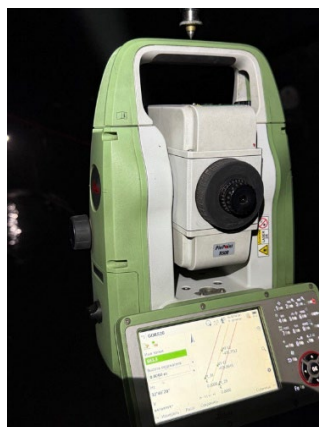


Рис. 2. Тахеометр Leica TS10.

– для улучшения качества съемки и распознавания поверхностей сканером было проведено дополнительное освещение участка съемки.

Сканирование выполнялось с помощью приложения 3D Scanner App (или аналогичного), поддерживающего работу с LiDAR-сенсором и экспорт облака точек в форматах .PLY, .LAS или .OBJ.

Параметры и особенности сканирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры и особенности сканирования

Дальность действия LiDAR	До 5 м
Средняя квадратическая ошибка измерения расстояний	5-6 см при стабильном положении устройства
Плотность точек при медленном проходе, в среднем	30-60 тыс. точек на 1 м ²
Угол охвата	120° по горизонтали и 90° по вертикали
Время сканирования участка	~ 5 минут

Сканирование выполнялось по схеме «обхода» участка кровли: оператор двигался вдоль выработки, медленно перемещая смартфон, чтобы обеспечить перекрытие между соседними облаками точек. Особое внимание уделялось зонам, где наблюдались признаки обрушения и неровности поверхности.

После завершения съемки данные были сохранены и экспортированы для последующей обработки.

На этапе обработки использовались программные пакеты CloudCompare [5]. Последовательность действий была следующей.

Импорт облака точек из приложения в CloudCompare (рис. 3).

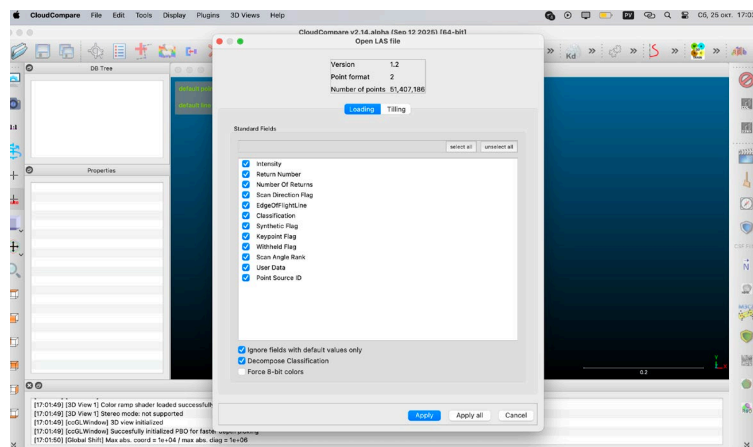


Рис. 3. Импорт облака точек в CloudCompare

Очистка данных от шумов и лишних элементов (например, лишних точек) (Рис. 4).

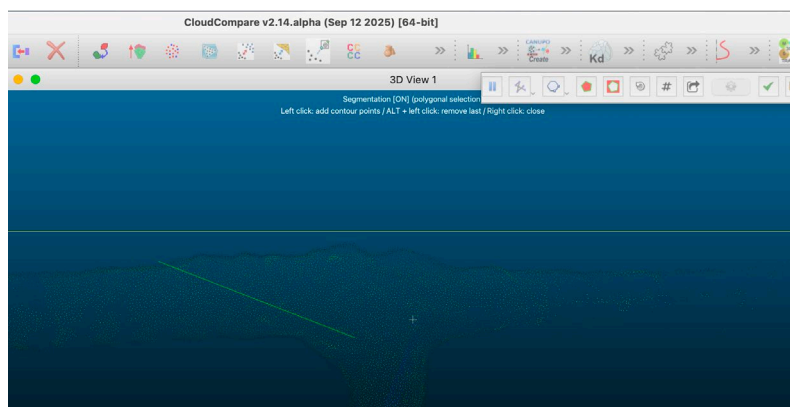


Рис. 4. Импорт облака точек в CloudCompare

Совмещение с геодезической основой – по координатам ориентирных марок, ранее измеренных тахеометром (Рис. 5, 6) [6].

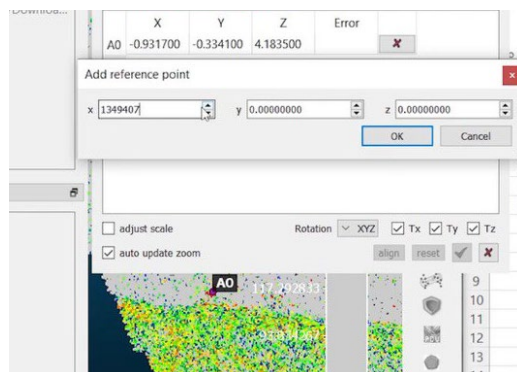


Рис. 5. Совмещение по координатам ориентирных марок

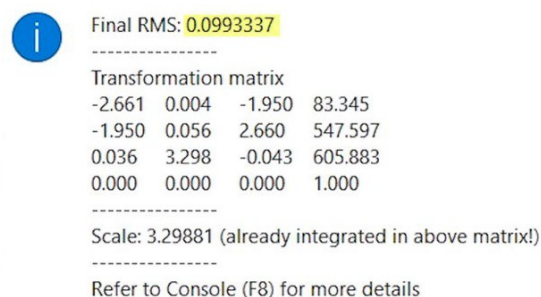


Рис. 6. Результат привязки

Построение поверхности кровли и границ обрушения (Рис. 6).

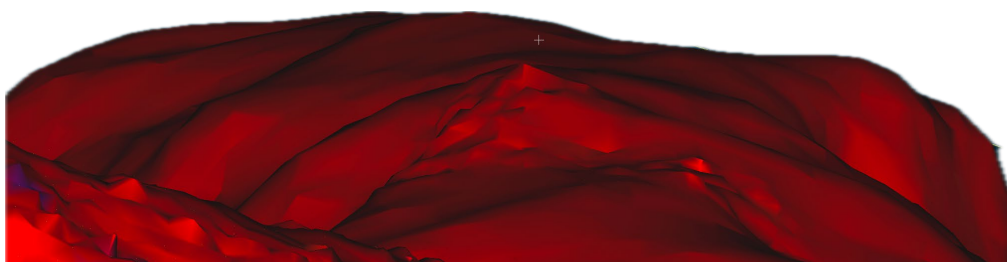


Рис. 6. Построенная поверхность кровли

Сравнение исходной (до обрушения) и фактической поверхностей по данным предыдущих измерений и текущего сканирования в ПО Micromine.

Расчет разности объемов между этими поверхностями для определения объема выпавшей горной массы [7].

Обсуждение

В результате обработки полученных данных была построена трехмерная модель участка кровли.

После совмещения и анализа поверхностей программа выдала расчетный объем выпавшей горной массы — около 20 м³.

Сопоставление с визуальными наблюдениями и контрольными замерами (с помощью мобильного лазерного сканера GeoSlam Zeb-Horizon) показало, что значение объема адекватно и соответствует реальной картине.

Погрешность, обусловленная использованием непрофессионального LiDAR, оценивается в пределах 10–15 %, что является допустимым для предварительной оценки объемов в производственных условиях.

Заключение

Проведенное исследование показало, что применение встроенного LiDAR-сканера мобильного устройства может быть эффективным инструментом для экспресс-оценки состояния горных выработок и расчета объемов обрушений. Несмотря на то, что точность полученных данных уступает профессиональным

лазерным системам, результаты сканирования обеспечили достаточную детализацию геометрии участка и позволили получить достоверное значение объема выпавшей горной массы.

Выполненная методика измерений, включающая подготовку выработки, калибровку модели по геодезическим меткам и последующую обработку облака точек, доказала свою практическую применимость в производственных условиях. Полученные данные могут использоваться для оперативного анализа устойчивости кровли, уточнения объемов погрузки и корректировки маркшейдерской документации.

Таким образом, опыт использования мобильного LiDAR-сканера подтвердил возможность его применения в качестве вспомогательного инструмента при проведении горно-маркшейдерских наблюдений, особенно в ситуациях, когда доступ к специализированному оборудованию ограничен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов А. В., Лаптев С. В., Мещеряков Р. В. Применение лазерного сканирования при маркшейдерском обеспечении горных работ // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – № 2. – С. 92–101.
2. Глебов В. Г., Еремеев С. В. Использование облаков точек для анализа устойчивости подземных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 10. – С. 118–124.
3. Токарев А. А., Беляев А. Н. Оценка точности мобильных LiDAR-систем при инженерно-геодезических съемках // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 45–55.
4. Apple Inc. iPhone 16 Pro: LiDAR Scanner Technical Specifications [Electronic resource]. – Mode of access: <https://support.apple.com> (accessed: 25.10.2025).
5. CloudCompare (3D point cloud and mesh processing software) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.cloudcompare.org> (accessed: 25.10.2025).
6. Мартынов И. П., Киселев А. С. Методы цифровой обработки облаков точек при контроле геометрии горных выработок // Горная промышленность. – 2019. – № 5 (147). – С. 64–69.
7. ISO 19111:2019. Geographic information — Referencing by coordinates [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.iso.org/standard/74039.html> (accessed: 25.10.2025).

© Р. Е. Калиакпаров, 2026