

Касянчук О.О., студент 3 курсу
Дідківський К.А., студент 3 курсу
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ МОБІЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Сучасна гірничодобувна промисловість стрімко трансформується в рамках розвитку технологій, що вимагає переходу від періодичних вимірювань до безперервного цифрового моніторингу. Традиційні геодезичні методи, такі як використання електронних тахеометрів та лазерних сканерів (TLS), хоча і є еталоном точності, залишаються дорогими, часоємними та часто небезпечними для персоналу. У цьому контексті використання мобільних пристроїв (смартфонів, планшетів) із вбудованими LiDAR-сенсорами та алгоритмами фотограмметрії розглядається як революційна альтернатива. Це дозволяє демократизувати процес збору 3D-даних, доручивши його лінійному персоналу без глибокої геодезичної підготовки. Проте масове впровадження таких технологій стримується необхідністю верифікації їхньої метрологічної надійності в суворих умовах гірничого виробництва.

Технологічною основою мобільного 3D-сканування є поєднання пасивної фотограмметрії (Structure-from-Motion, SfM) та активних сенсорів глибини (LiDAR). Дослідження показують, що ці методи доповнюють одне одного: фотограмметрія забезпечує високу роздільну здатність текстур та чіткість країв об'єктів при гарному освітленні, тоді як LiDAR ефективний у темряві та на однорідних поверхнях, де оптичні методи дають збій. Критичною умовою досягнення точності є використання наземних опорних точок (GCP), оскільки власні GNSS-модулі смартфонів мають похибку позиціонування в межах 3–10 метрів, що є неприпустимим для маркшейдерії.

У практичних завданнях, таких як вимірювання об'ємів складів корисних копалин, сучасні смартфони демонструють високу ефективність. Узагальнені дані щодо точності вимірювання об'ємів різними методами наведено у таблиці нижче.

Таблиця 1.

Порівняння похибок вимірювання об'ємів (Stockpile Volumetrics)

Метод / Інструмент	Еталон порівняння	Похибка об'єму (%)	Примітки
Компактна камера	лабораторні заміри	0.37% – 2.33%	висока стабільність у контрольованих умовах
Смартфон	лабораторні заміри	0.67% – 3.19%	залежить від якості камери та освітлення
БПЛА	тахеометр (TST)	~3.0%	для кар'єрних складів
Pix4Dmapper (Mobile/UAV)	GNSS/LiDAR	2.0% – 5.0%	для великих об'єктів

Як видно з наведених даних, мобільна фотограмметрія на базі смартфонів демонструє похибку в межах 3%, що є співставним з результатами аерозйомки з БПЛА та відповідає вимогам до оперативної інвентаризації гірничої маси. Важливо відзначити, що фотограмметричні методи часто дають більш детальну модель поверхні складу, ніж класична зйомка GNSS-приймачем, яка інтерполює дані між пікетами.

При моделюванні скельних відслонень та укосів кар'єрів ключовим показником є геометрична точність поверхні. Польові випробування фіксують різні показники середньоквадратичної помилки (RMSE) залежно від типу сенсора.

Таблиця 2.

Геометрична точність реконструкції поверхонь (RMSE)

Сенсор / Технологія	RMSE (Геометрія)	Щільність точок	Сфера застосування
Професійна камера	~0.11 мм	дуже висока	детальне геологічне документування
Смартфон	~0.12 – 0.19 мм	висока	оперативна зйомка вибоїв, зразків
Мобільний LiDAR	10 – 20 мм	низька/середня	швидкі обміри виробок, сканування в темряві
TLS (наземний лазерний сканер)	2 – 5 мм	екстремальна	моніторинг деформацій, еталонні заміри

Аналіз таблиці показує, що для задач, які вимагають субміліметрової точності (наприклад, аналіз шорсткості тріщин), фотограмметрія (SfM) є кращим вибором, ніж вбудований мобільний LiDAR, роздільна здатність якого наразі обмежена. Водночас LiDAR забезпечує стабільний масштаб і є незамінним для швидкого отримання загальної геометрії об'єкта з точністю до 2 см.

Важливим аспектом є програмна обробка даних. Використання спеціалізованого ПЗ (наприклад, Agisoft Metashape) дозволяє компенсувати дисторсію маленьких лінз мобільних камер та ефект "Rolling shutter". Аналіз показує, що гібридний підхід, де LiDAR використовується для загального масштабування сцени, а фотограмметрія — для деталізації, дає найкращі результати. Водночас, обмежена дальність дії мобільних LiDAR (до 5 метрів) та падіння щільності точок на відстані роблять їх непридатними для зйомки високих бортів кар'єрів без використання дронів або допоміжних засобів.

Мобільна фотограмметрія та сканування споживчими пристроями довели свою спроможність як валідний інструмент для вирішення оперативних гірничих завдань. Забезпечуючи точність вимірювання об'ємів до 3% та геометрії поверхонь у межах кількох сантиметрів, ці технології дозволяють суттєво скоротити час та вартість маркшейдерських робіт. Однак вони не можуть повністю замінити прецизійне обладнання для задач високого класу точності, таких як моніторинг деформацій відповідальних споруд. Для отримання надійних результатів обов'язковим є використання опорних геодезичних мереж та комбінування активних і пасивних методів зйомки.