

Гнітецький О.М., аспірант, 3 курс, PhD-184-23-2,
Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Котенко В.В. к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРАКТИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ВИКОНАНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ НА ОСНОВІ ПОРІВНЯННЯ ЦИФРОВИХ 3D-МОДЕЛЕЙ ВІДКРИТОЇ ГІРНИЧОЇ РОЗРОБКИ, СТВОРЕНИХ ЗА ДАНИМИ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Актуальність: Використання безпілотних літальних апаратів для створення цифрових 3D-моделей рельєфу відкритих гірничих розробок є ефективним інструментом для маркшейдерського супроводу та контролю обсягів виконаних гірничих робіт. Порівняно з класичними наземними методами, застосування БПЛА дозволяє охоплювати значні площі в умовах складного рельєфу, зменшує час польових робіт і забезпечує підвищену безпеку, адже знімання виконується дистанційно без необхідності зупинки технологічного процесу.

Постановка задач: Отримання двох цифрових 3D-моделей гранітного кар'єру за різні роки, їх прив'язка в єдину систему координат UCS-2000/LCS-18 Zhytomyr, а також визначення об'ємів виконаних гірничих робіт шляхом порівняння цих моделей. Додатковою метою було встановити точність створених моделей та визначити чинники, що впливають на похибки при обчисленні об'ємів.

Викладення матеріалу:

Аерофотознімання відкритої гірничої розробки ПРАТ «Коростишівський гранітний кар'єр», що розташована північніше с. Кам'яний Брід, виконувалося у дві сесії: у 2024 та 2025 роках. У обох випадках польоти здійснювалися на висоті 60 м із повздовжнім та поперечним перекриттям 80 % і 70 % відповідно, з використанням БПЛА DJI Mavic 3 Enterprise. Маршрут польоту та параметри знімання забезпечували необхідну глибину перекриттів для фотограмметричної реконструкції уступів та робочих поверхонь.

Просторова прив'язка моделей виконана за допомогою системи опорних марок, координати яких були визначені полярним методом тахеометром South NTS-355R з кутовою точністю 5". У 2024 році використано п'ять опорних марок, закріплених на стійких елементах рельєфу. У 2025 році до цих марок було додано шістнадцять контрольних точок (1 вертикальна та 15 горизонтальних), виконаних у вигляді мішеней на матовому фотопапері формату А3 на клейкій основі, розміщених на поверхні гранітних блоків. Опрацювання даних здійснювалося в програмному забезпеченні PIX4Dmatic, де виконано калібрування камери, вирівнювання знімків, генерацію щільної хмари точок та побудову тривимірних моделей у форматі OBJ. За результатами обробки 2025 року середній RMS-показник по GCP та контрольних точках становив приблизно 2–3 см, що підтверджується звітом якості проекту.

Порівняння моделей 2024 та 2025 років виконано у 3Dsurvey методом Mesh-to-Mesh. На моделі 2025 року був побудований полігон робочої ділянки, що визначає зону інтересу для зіставлення двох моделей. Площа полігону становила 1133,483 м² для блоку 1 та 3177,409 м² для блоку 2. Далі програмне забезпечення автоматично обчислило різницю між моделями та побудувало карту дельти об'ємів.

Результати: За результатами порівняння двох моделей встановлено обсяг виконаних гірничих робіт, детально рис.1 та рис. 2:

- блок 1 – 10 095,478 м³; блок 2 – 26 064,723 м³.

Отриманий результат демонструє чітку динаміку освоєння кар'єру протягом року. Візуалізація різниць дозволяє визначити геометрію виїмки, напрямки переміщення порід та локальні особливості розвитку уступів.

Недоліки: Модель 2024 року містила окремі кам'яні блоки та залишки складованих матеріалів, які увійшли до об'єму при обчисленні та можуть давати похибку до 5 %. Крім того, відсутність автоматизованого звіту об'ємів у 3Dsurvey ускладнює формування повного пакета документації. Для підвищення точності необхідно виконувати попередню очистку моделі або фізичне прибирання зайвих блоків перед зніманням.

Переваги: Метод дозволяє отримувати швидкий і наглядний результат без зупинки роботи кар'єру. Наявність постійних опорних марок забезпечує стабільну геодезичну основу для повторних знімань. Використання ручної прив'язки моделей робить технологію автономною і незалежною від RTK-корекцій GSM, що є важливим у польових умовах та в умовах воєнного стану.



Рис. 1. Візуалізація порівняння 3D-моделей кар'єру за 2024 та 2025 роки з виділеними полігонами зон інтересу: блок 1 (червоний контур) та блок 2 (синій контур). На моделі показано різницю геометрії уступів і обсягів виїмки порівняно з попереднім роком (2025 рік).

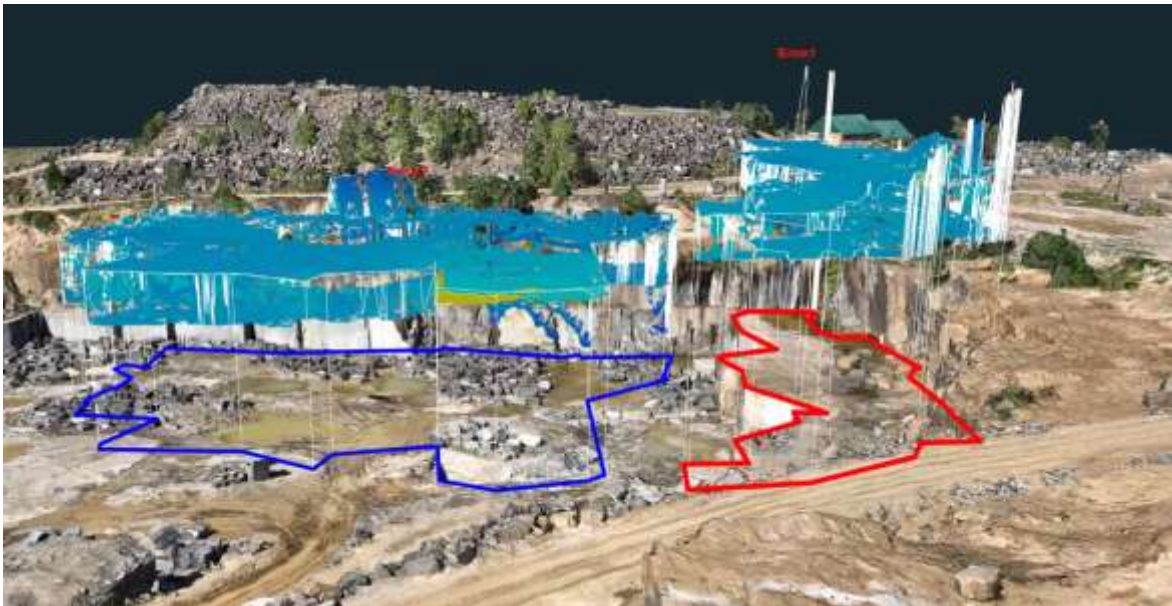


Рис. 2. Візуалізація порівняння 3D-моделей кар'єру за 2024 та 2025 роки з виділеними полігонами зон інтересу: блок 1 (червоний контур) та блок 2 (синій контур). На моделі показано різницю геометрії уступів і обсягів виїмки порівняно з попереднім роком (2024 рік).

Напрями подальших досліджень: Планується протестувати спеціалізоване ПЗ для аналізу хмар точок, зокрема CloudCompare, з можливістю точнішого порівняння моделей методом Cloud-to-Cloud та отриманням детальних статистичних та об'ємних звітів. Також передбачається порівняння результатів з класичними GNSS-вимірами та пошук оптимальних параметрів знімання (кут нахилу камери, висота польоту, частка облікових знімків) для покращення реконструкції уступів.

Висновки: Порівняння двох незалежно створених тривимірних моделей дозволило визначити об'єми виконаних гірничих робіт та підтвердило практичну можливість використання БПЛА як інструменту маркшейдерського контролю. Застосування опорних марок і тахеометричного знімання забезпечує достатню геометричну точність моделей для порівняння та подальших інженерних задач. Методика є перспективною для системного контролю динаміки освоєння родовищ нерудної будівельної сировини та може бути основою для подальших наукових досліджень у цій сфері.