

© О.С. Кучин¹, О.А. Згама¹, А.С. Баришніков¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН НА СКЛАДАХ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ

© O. Kuchin¹, O. Zgama¹, A. Barichnikov¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ANALYSIS OF THE DETERMINATION ACCURACY OF MINERAL VOLUMES IN DUMPS USING MODERN APPLICATION SOFTWARE

Мета. Визначення похибок обчислення об'єму корисної копалини на складах та відвалах гірничих підприємств за рахунок похибок знімання поверхонь та розрахунку об'ємів за допомогою сучасних прикладних програмних продуктів.

Методика дослідження. В роботі використані результати натурних маркшейдерських вимірювань поверхні відвалу об'ємом 13 млн. м³ за допомогою електронного тахеометру та GNSS-приймача. Теоретичні дослідження виконувались у прикладному програмному продукті САМАРа (Система автоматизації маркшейдерських робіт) з використанням модуля Fata Morgana для створення моделей поверхні відвалу та обчислення його об'єму з різними вихідними параметрами.

Результати дослідження. Наведені похибки визначення об'єму корисної копалини за рахунок інструментальних маркшейдерських знімачів, виконаних за різною технологією та приладами. Встановлено, що при використанні оптичних приладів похибка абсолютної висоти вимірювання точки в середньому становить близько 45 мм, електронних тахеометрів середнього класу точності – 22 мм. Похибки розрахунку об'єму в залежності від його способу і методики створення тривимірної моделі поверхні за результатами аналізу досягають 3%, що для малих складів є мінімально допустимою величиною. Виконано аналіз точності підрахунку об'ємів в залежності від складності поверхні та кроку об'ємної палетки за допомогою їх моделювання в програмному середовищі САМАРа.

Наукова новизна. Виконаний аналіз похибки обчислення об'єму корисної копалини на складах та відвалах гірничих підприємств в залежності від способів зйомки, обраних приладів та складності поверхні у сучасних умовах виконання та обробки маркшейдерських знімачів.

Практичне значення. Полягає в розробці рекомендацій щодо визначення об'ємів корисних копалин на складах і аналізі їх можливих похибок. За допомогою виконаних досліджень можна: редагувати вимоги діючої нормативної інструкції 1987 р., яка не задовольняє сучасним умовам виконання та обробки маркшейдерських знімачів; запропонувати параметри обчислення об'ємів у системі САМАРа.

Ключові слова: об'єм, модель, склад, тахеометрична зйомка, прикладні програми, похибка, топографічна поверхня, гірниче підприємство, маркшейдерсько-геодезичні прилади.

Актуальність. Вантажно-розвантажувальні роботи при видобутку і відвантаженні корисних копалин вимагають постійного контролю і деталізації об'ємів складів та відвалів для проведення аудиту за даними маркшейдерського

та бухгалтерського обліку. Визначення об'ємів корисних копалин на складах регламентується Інструкцією з виробництва маркшейдерських робіт [1], яка була опублікована в 1987 р. та не враховувала сучасних методик знімання та обробки їх результатів.

Аналіз практичного досвіду застосування програмної реалізації традиційних методів розрахунку об'ємів складів корисних копалин, за даними зйомки, показав, що існуючі підходи мають похибку вимірювання і не можуть застосовуватися для коректної оцінки складів корисних копалин. Тому актуальним є розробка підходу, що дозволяє проводити незалежні, достовірні та оперативні геометричні вимірювання просторово-часових характеристик складів корисних копалин та їх обробку.

Аналіз досліджень. Розвитку технологій маркшейдерського забезпечення при розробці родовищ з відкритим способом видобутку сприяли праці таких вчених, як Гусев В.М., Медведєв Е.М., Чібунічев А.Г. [6-9] та ін. Теоретична база для визначення об'ємів складів корисних копалин на основі використання даних наземних геодезичних вимірювань досить повно розроблена і застосовується на практиці. При цьому інформація про легітимність використання сучасних технологій знімання в нормативній діючій інструкції не прописана.

Недостатньо літературної інформації щодо точності знімання поверхонь складів та визначення їх об'ємів.

Встановлення невирішених проблем. В результаті вивчення літературних джерел інформації та нормативних документів визначено:

- застаріла нормативна база не відповідає сучасним умовам виконання маркшейдерських знімань та їх обробки;
- допустимі значення похибки розрахунку об'єму корисної копалини на складах та відвалах гірничих підприємств є неактуальними для сьогодення;
- підрахунок об'ємів з використанням сучасних прикладних продуктів не має обґрунтування аналізу точності розрахункових даних в залежності від вихідних параметрів.

Постановка задачі. Для визначення точності розрахунку об'ємів сировини на складах та відвалах слід проаналізувати результати інструментальних знімань їх поверхонь та встановити ймовірні похибки обчислень. Визначити теоретичну точність визначення координат точок поверхні при використанні різних методик та приладів знімання.

Основний матеріал. Родовища корисних копалин з відкритим способом видобутку розробляється за планом розвитку гірничих робіт. При цьому контроль за правильним і повним відпрацюванням покладів, проведення зйомок, з подальшим виміром об'ємів виробок і складів корисних копалин входить в обов'язки маркшейдерських служб гірничих підприємств.

В разі виконання контрольної зйомки відвалу різницю основного і контрольного визначень об'єму не повинна перевищувати значень, наведених нижче в таблиці 1 [1]. При допустимій різниці двох незалежних визначень об'єму відвалу до обліку приймають його середнє значення.

Допустима різниця визначення об'єму

Об'єм складу чи відвала, тис. куб. м.	до 20	20 – 50	50 – 200	більше 200
Допустима відносна різниця двох незалежних визначень, %	12	8	4	3

Влясників підприємств, які розробляють високоцінні руди в невеликих об'ємах, допустима різниця в 12% незадовольняє.

В даний час для визначення об'єму складу в основному використовується метод тахеометричної зйомки з використанням оптичних та електронних приладів. Для обчислення площі та об'єму складу застосовуються методи об'ємної палетки, горизонтальних перетинів, вертикальних профілів і простих геометричних фігур. У системі автоматизації маркшейдерських робіт (САМАРа) використовується спосіб об'ємної палетки, точність якого визначається перетином її квадрата (шагом палетки чи сканування).

Аналіз публікацій розглянутого напрямку досліджень виявив низький ступінь інтересу до даного питання в літературних джерелах. За останній час автори в основному розглядають сучасні методики зйомки складів, відвалів і визначення їх об'ємів.

В роботі розглянуті статті про сучасні методи визначення об'ємів корисної копалини, вони наведені нижче.

Згідно [3] в даний час для точного підрахунку об'ємів використовується нова геодезична технологія - наземне лазерне сканування. Результат роботи лазерного сканера - мережа вимірних точок, яка покриває відвал або склад. Тепер використовується не кілька десятків вимірювань, за якими будується спрощена геометрична фігура і розраховується її об'єм, а сотні тисяч точок із заданою регулярністю, наприклад, в 10 см. Такий докладний опис поверхні фігури неправильної форми дозволяє досягти високої точності при розрахунку об'ємів. Лазерні сканери мають досить високу (від сотень до мільйона точок в секунду) швидкість вимірювань, що дозволяє їм конкурувати з традиційними геодезичними методами. Не можливо не згадати ще про одну перевагу дифузійного принципу вимірювання відстаней - віддаленості від об'єкту зйомки. Немає необхідності підніматися з відбивачем на відвал або ходити по кромці кар'єра, ризикуючи здоров'ям. При цьому висока вартість обладнання не дозволяє поширено використовувати такі технології зйомки.

За останні десятиліття істотно змінилася база сучасного геодезичного обладнання, продуктивність зйомок, способи обробки і методика обчислення об'ємів складів і відвалів. Але питанню точності визначення об'ємів корисних копалин мало хто приділяв уваги. Тому головною метою роботи є обґрунтування точності визначення об'ємів корисних копалин на складах та відвалах.

Аналіз похибок, що виникають при тахеометричній зйомці поверхні складу. Умовно помилки визначення об'єму складу m_v можна розділити на дві складові:

- похибка вимірювань;
- похибка розрахунку об'єму.

Точність об'єму залежить від наступних факторів:

- похибка вимірювань при тахеометричній зйомці поверхні складу (відвалу);
- актуальність поверхні підосви складу і точності її визначення;
- густоти знімальних точок на поверхні складу (відвалу) і мінливості її рельєфу;
- точності обчислення об'єму тим чи іншим способом;
- похибки пов'язані з вибором способу інтерполяції вихідної поверхні.

Актуальність поверхні підосви складу і точність її визначення є постійними в поточний момент часу, отже їх впливом можна знехтувати.

Що стосується похибок вимірювань при тахеометричній зйомці поверхні складу для дослідження впливу похибок вимірів слід визначити граничні умови виробництва тахеометричної зйомки, яка може виконуватися електронними тахеометрами або оптичними приладами. При цьому похибка визначення планових координат знімальних точок практично чинить менший вплив на обсяг складу, ніж похибка встановлення абсолютних відміток.

Точність визначення абсолютної висоти точки в основному складається з:

- помилки вимірювання вертикального кута;
- помилки вимірювання похилої відстані;
- помилки вимірювання висот інструменту (1-2 мм) і віхи (1-2 см);
- помилки установки віхи або рейки (до 3 см).

Враховуючи, що кути нахилу ліній незначні, помилка вимірювання похилої відстані також буде мінімальна. Основним джерелом похибки визначення висотної позначки буде похибка вимірювання вертикального кута.

Інструментальна похибка обчислюється за формулою:

$$m = \pm \sqrt{\frac{m_B^2}{n} + \frac{m_o}{n} + \frac{m_i}{n} + \frac{m_T}{n}},$$

де m_B – похибка візування; m_o – похибка відліку; m_i – похибка за рахунок нахилу візирної осі; m_T – СКП вертикального (горизонтального) кута приладу; n – кількість прийомів, $n = 0,5$ (при тахеометричній зйомці використовується один напівприйм).

Похибка візування обчислюється за формулою:

$$m_B = \frac{\alpha_{min}}{\Gamma},$$

де α_{min} – найменший кут зору, $\alpha_{min} = 60''$; Γ – збільшення зорової труби теодоліта; для теодолітів типу 4Т30П – 18^* , для електронних тахеометрів – $27,5^*$.

Похибка відліку обчислюється за формулою:

$$m_o = \sqrt{m_t^2 + m_s^2 + m_d^2},$$

де m_t – похибка взяття відліку за шкалою; m_ε – похибка ексцентриситету; m_d – похибки за рахунок неточності діаметрів горизонтального кола.

Похибки m_t , m_ε , m_d обчислюються за формулами:

$$m_t = \frac{t}{\sqrt{3}}; \quad m_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{пп}}}{\sqrt{3}}; \quad m_d = \frac{\Delta d_{\text{пп}}}{\sqrt{3}},$$

де t - точність відліку; для теодолітів типу 4Т30П – 30", для електронних тахеометрів у середньому – 6"; $\varepsilon_{\text{пп}} = 15''$; $\Delta d_{\text{пп}} = 10''$.

Похибка за рахунок нахилу візирної вісі для теодолітів типу 4Т30П не вводиться, так як вона буде мінімальна і нею можна знехтувати.

Похибки m_t , m_ε , m_d , для теодоліта 4Т30П становить:

$$m_t = \frac{30}{\sqrt{3}} = 17''; \quad m_\varepsilon = \frac{15''}{\sqrt{3}} = 9''; \quad m_d = \frac{10''}{\sqrt{3}} = 6''.$$

Похибки m_t , m_ε , m_d , обчислені для електронних тахеометрів складають:

$$m_t = \frac{9}{\sqrt{3}} = 5''; \quad m_\varepsilon = \frac{15''}{\sqrt{3}} = 9''; \quad m_d = \frac{10''}{\sqrt{3}} = 6''.$$

Похибка відліку, обчислена за формулою для теодоліта 4Т30П:

$$m_o = \sqrt{17^2 + 9^2 + 6^2} = 20''.$$

Похибка відліку, обчислена за формулою для електронних тахеометрів:

$$m_o = \sqrt{5^2 + 9^2 + 6^2} = 12''.$$

Похибка візування, обчислена за формулою для теодоліта 4Т30П:

$$m_B = \frac{60}{18} = 3''.$$

Похибка візування, обчислена за формулою для електронних тахеометрів:

$$m_B = \frac{60}{27,5} = 2''.$$

Інструментальна похибка горизонтального кута, обчислена за формулою для теодоліта 4Т30П:

$$m = \pm \sqrt{\frac{3^2}{0,5} + \frac{20^2}{0,5} + \frac{30^2}{0,5}} = 51''.$$

Інструментальна похибка горизонтального кута, обчислена за формулою для електронних тахеометрів:

$$m = \pm \sqrt{\frac{2^2}{0,5} + \frac{12^2}{0,5} + \frac{9^2}{0,5}} = 21''.$$

Інструментальна похибка вертикального кута для теодоліта 4Т30П:

$$m = \pm \sqrt{\frac{3^2}{0,5} + \frac{20^2}{0,5} + \frac{60^2}{0,5}} = 89''.$$

Інструментальна похибка вертикального кута для електронних тахеометрів:

$$m = \pm \sqrt{\frac{2^2}{0,5} + \frac{11^2}{0,5} + \frac{9^2}{0,5}} = 20'';$$

Похибка визначення висотної відмітки точки зйомки:

$$m_h = L \cdot \operatorname{tg} m_\delta,$$

де L – відстань від приладу до точки зйомки; m_δ – похибка вимірювання вертикального кута.

У приладах типу 4Т30П будуть розглядатися відстані 30, 60 і 100 м., а в електронних тахеометрах будуть розглядатися відстані в 50, 100, 200 і 300 м. Максимально допустимі відстань зйомки оптичними та електронними приладами регламентується Інструкцією по виконанню маркшейдерських робіт [1].

Похибка визначення висотної відмітки точки зйомки для теодоліта 4Т30П буде дорівнювати:

$m_h = 30\,000 \cdot \operatorname{tg} 89'' = 13$ мм; (для відстаней 60 та 100 м відповідно 26 та 43 мм).

Похибка визначення висотної відмітки точки зйомки для електронних тахеометрів становить:

$m_h = 50\,000 \cdot \operatorname{tg} 20'' = 5$ мм; (для відстаней 100, 200 та 300 м відповідно 10, 19 та 29 мм)

Також в наведених дослідженнях враховані похибки, які виникають при тахеометричній зйомці поверхні складу:

- помилка вимірювання висоти інструменту, $m_i^h = 2$ мм;
- помилка установки віхи на точку зйомки, $m_{\text{вех}} = 10 - 20$ мм.

Остаточно отримуємо очікувану похибку визначення висотних відміток знімальних точок при тахеометричній зйомці поверхні складу:

$$m_\rho = \sqrt{m_h^2 + m_i^2 + m_{\text{вех}}^2}$$

Для теодоліта 4Т30П m_ρ буде дорівнювати:

$$m_\rho = \sqrt{26^2 + 2^2 + 20^2} = 33 \text{ мм} - \text{ для відстані в 60 м. ;}$$

$$m_\rho = \sqrt{43^2 + 2^2 + 20^2} = 47 \text{ мм} - \text{ для відстані в 100 м.}$$

Для електронних тахеометрів m_ρ буде дорівнювати:

$$m_\rho = \sqrt{10^2 + 2^2 + 20^2} = 22 \text{ мм} - \text{ для відстані в 100 м. ;}$$

$$m_\rho = \sqrt{29^2 + 2^2 + 20^2} = 35 \text{ мм} - \text{ для відстані в 300 м.}$$

Отже при середньої дальності знімання в 100 м при використанні електронного тахеометру похибка визначення висотної відмітки точок знімання відносно стандартної методики з використанням оптичних приладів зменшується вдвічі (відповідно 22 та 47 мм).

Аналіз похибки розрахунку об'єму корисних копалин за допомогою сучасного спеціального програмного забезпечення.

Основними факторами, що впливають на точність визначення об'єму складу є його площа, об'єм, мінливість рельєфу, відстані між знімальними точками і крок об'ємної палетки.

Для виконання аналізу можливих величин помилок за рахунок створення вихідних топоповерхонь, проаналізовані результати тахеометричної зйомки породного відвалу ЦЗФ «Свято-Варварівська» (рис. 1).

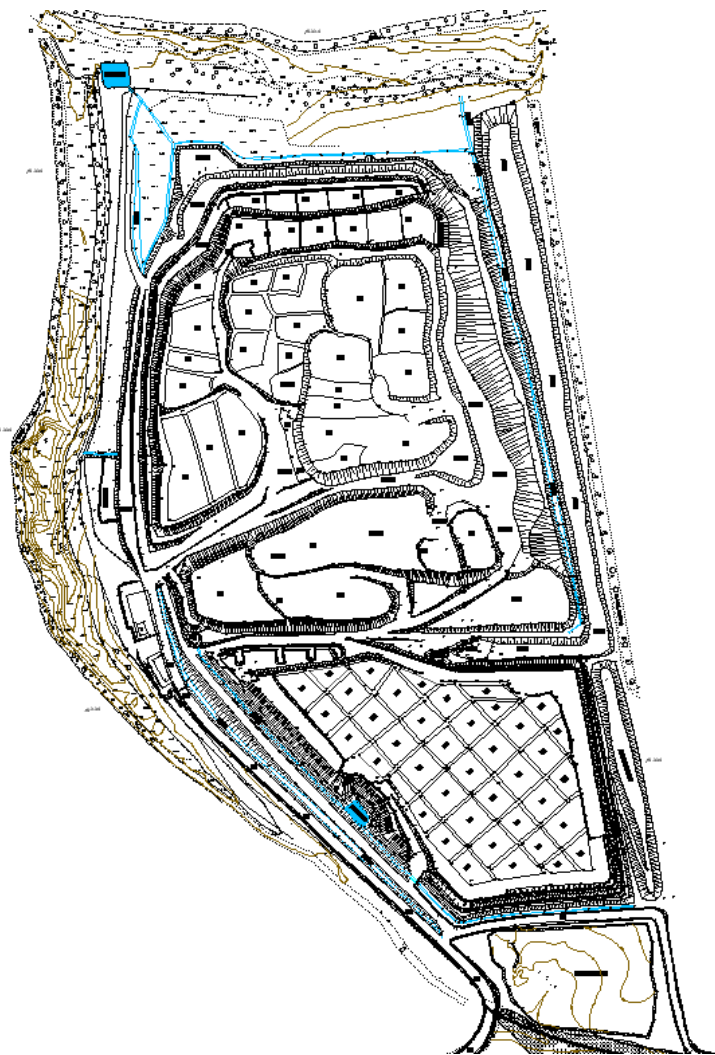


Рис. 1. Топографічна поверхня відвалу

Вихідна топоповерхня базується на тахеометричній зйомці відвалу, яка містить 2244 точки зйомки і площу 1286,1 тис. м². Відстань між знімальними точками становить близько 12 м.

Метою представлених досліджень є аналіз можливих похибок в визначенні об'єму корисних копалин на складах за рахунок похибок розрахунку його об'єму.

Для аналізу використано програмне забезпечення для автоматизації маркшейдерських робіт САМАРА і його програмний продукт FATA MORGANA.

Першим етапом було створення моделі поверхні відвалу на підставі тахеометричної зйомки. Модель сформована на основі висотних відміток точок зйомки (рис. 2). Модель поверхні підосви відвалу створювалася на основі ізоліній.



Рис. 2. Триангуляційна мережа моделі відвалу

Об'єми між двома поверхнями (мережами) розраховувалися при різних величині кроку палетки - 5, 10, 20 і 40 м. При обчисленні об'єму відвалу з кроком в 1 і 2 м., програма видавала збій і не зберігала дані, що істотно гальмувало процес дослідження. Це є недоліком, скоріше з технічної точки зору. Щоб оперувати великою кількістю даних необхідне відповідне обладнання.

На першому етапі об'єм був розрахований на основі висотних відміток тахеометричної зйомки, без врахування особливостей поверхні відвалу (рис. 3).



Рис. 3. Триангуляційні мережі накладені один на одну. Синя без структурок. Зелена зі структурками

Для побудови нової мережі з урахуванням зміни поверхні була створена модель із структурними лініями, які відповідають бровкам уступів. При цьому значення висотної відмітки задавалось в конкретних точках структурки, а між цими точками здійснювалась інтерполяція самою системою (рис. 4).

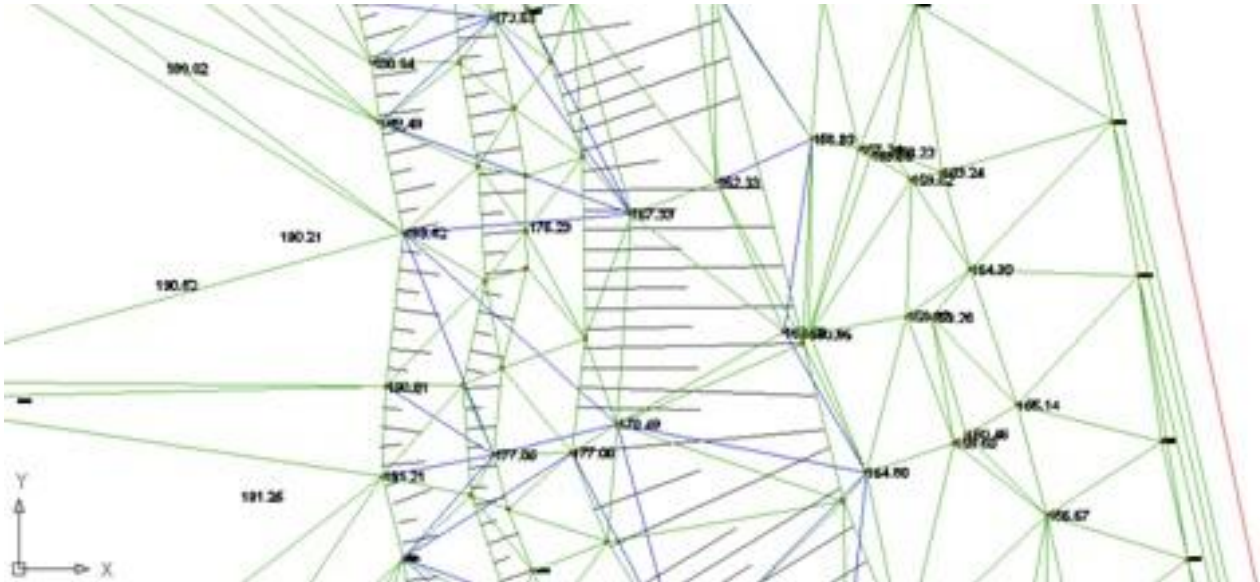


Рис. 4. Приклад похибки за рахунок інтерполяції

На зображеннях (рис. 3, 4) видно, яким чином може формуватися похибка створення топоповерхні, якщо не враховувати геометричні особливості відвалу.

В даному випадку видно великий вплив похибки при інтерполяції для визначення проміжних висотних відміток між точками зйомки. Механізм застосування структурних ліній дозволяє відобразити в моделях найрізноманітніші особливості геометрії. Без зазначення структурних елементів система буде інтерполювати поверхню по заданим параметрам, не враховуючи геометрію, що призводить до суттєвих похибок визначення об'єму.

Отримані об'єми були зведені в таблицю (табл. 2).

Таблиця 2

Визначення об'єму відвалу

Величина кроку палетки, м	40	20	10	5
Об'єм обчислений на основі висотних відміток, тис. м ³	13 761,5	13 688,7	13 662,0	13 654,8
Об'єм обчислений з додаванням структурок, тис. м ³	13 969,3	14 088,1	14 040,7	14 064,5
Різниця визначення об'ємів ΔV , м ³	208	399	379	410
У процентному співвідношенні, %	1,5	2,8	2,7	2,9

Розрахунок об'єму відвалу (рис. 1) був виконаний двома фахівцями за однаковими вихідними даними. Різниця між результатами склала 1,4% - для першого варіанту моделі і 1,0% - для другого варіанту моделі.

Варто звернути увагу на похибку визначення об'єму пов'язану з людським фактором, яку ніяким чином неможливо оцінити кількісно.

Для аналізу впливу похибок вимірювання введемо їх значення в висотні відмітки моделі (рис. 2) у вигляді випадкового розподілення. В результаті проведення аналізу максимальне значення ΔV при використанні електронного тахеометра склало 0,6% для оптичного теодоліта технічної точності 2,0%. Слід відмітити, що величина ΔV залежить не стільки від об'єму скільки від площі складу. Наприклад, при великій площі складу і кількості знімальних точок, але малої його висоти похибка ΔV збільшується і навпаки.

Остаточна помилка визначення об'єму складу m_v може бути отримана за формулою:

$$m_v = \sqrt{m_u^2 + m_b^2},$$

де m_u^2 – похибка за рахунок вимірювання; m_b^2 – похибка виконання розрахунку.

Максимальна похибка визначення об'єму складу (відвалу) m_v до 400 тис. м³ теодолітами технічної точності:

$$m_v = \sqrt{2,0^2 + 2,9^2} = 3,6 \%;$$

Для електронних тахеометрів вона становить:

$$m_v = \sqrt{0,6^2 + 2,9^2} = 3,0 \%.$$

Таким чином, при використанні оптичних приладів для вимірювання поверхні, похибка не повинна перевищувати 3,6%, а при використанні електронних тахеометрів – 3,0%.

Висновки. В статті на основі досліджень виконано аналіз похибки розрахунку об'єму корисних копалин за допомогою сучасного спеціального програмного забезпечення. Проаналізовано похибки, що виникають при тахеометричній зйомці поверхні складу.

Основними факторами, що впливають на точність визначення об'єму складу, є його площа, об'єм, мінливість рельєфу, відстані між знімальними точками і крок об'ємної палетки.

Максимальне значення похибки, обумовлене помилками створення вихідної топоповерхні, досягло 2,9%.

Проаналізовано інструментальні помилки, що виникають при тахеометричній зйомці. Їх максимальні значення для відстані в 100 м склали - 47 мм для оптичного теодоліта та 22 мм для електронних тахеометрів.

Різниця між результатами розрахунку об'єму, виконаному двома фахівцями за однаковими вихідними даними склала 1%.

Отримано залежності значень ΔV від об'єму при кроці палетки в 20 м. І залежність значень ΔV від показника мінливості рельєфу.

Встановлено, що максимальна помилка при об'єму відвалу при використанні електронних тахеометрів становить 3,0%, традиційними методами – 3,6%.

В подальших дослідженнях планується виконати аналіз величин похибок для малих складів з використанням для зйомки квадрокоптерів та GNSS-приймачів.

Перелік посилань

1. *Инструкция по производству маркшейдерских работ* (1987). Москва: Недра
2. *Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ. Маркшейдерские измерения и документация. Изд. 2.* (1973). Ленинград: «Недра».
3. Аникушкин, М.Н. (2005). *Определение объемов горных пород методом лазерного сканирования. НИИ "Навгеоком"*.
4. Ханова, А.А. (n.d.). *Интерполяция функций*
<http://old.exponenta.ru/educat/systemat/hanova/interp/loc.asp>.
5. Гудков, В.М., Хлебников А.В. (1990). *Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений: Учебник для вузов.* Москва: Недра.
6. Гусев, В.Н. (2009). Методические подходы к съемке карьеров лазерно-сканирующими системами. *Маркшейдерский вестник*, 4, 19-24.
7. Никонов, А.В. (2015). К вопросу об определении постоянной поправки дальномера электронного тахеометра. *Вестник СГУГиТ*, 1(29), 54-61.
8. Медведев, Е.М. (2002). Преимущества применения лазерных сканирующих систем наземного и авиационного базирования. *Горная промышленность*, 5, 3-5.
9. Чибуничев, А.Г. (2011). Технология совместной обработки результатов наземного лазерного сканирования и цифровой фотосъемки. *Инженерные изыскания*, 2, 32-36.

АННОТАЦИЯ

Цель. Определение погрешностей вычисления объема полезного ископаемого на складах и отвалах горных предприятий за счет погрешностей съемки поверхностей и расчета объемов с помощью современных прикладных программных продуктов.

Методика исследования. В работе использованы результаты натурных маркшейдерских измерений поверхности отвала объемом 13 млн. м³ с помощью электронного тахеометра и GNSS-приемника. Теоретические исследования выполнялись в прикладном программном продукте Самаре (Система автоматизации маркшейдерских работ) с использованием модуля Fata Morgana для создания моделей поверхности отвала и вычисления его объема с различными исходными параметрами.

Результаты исследования. Приведенные погрешности определения объема полезного ископаемого за счет инструментальных маркшейдерских съемок, выполненных по различной технологии и приборами. Установлено, что при использовании оптических приборов погрешность абсолютной высоты измерения точки в среднем составляет около 45 мм, электронных тахеометров среднего класса точности – 22 мм. Погрешности расчета объема в зависимости от его образа и методики создания трехмерной модели поверхности по результатам анализа достигают 3%, что для малых составов является минимально допустимой величиной. Выполнен анализ точности подсчета объемов в зависимости от сложности поверхности и шага объемной палетки с помощью их моделирования в программной среде Самары.

Научная новизна. Выполненный анализ погрешности вычисления объема полезного ископаемого на складах и отвалах горных предприятий в зависимости от способов съемки, избранных приборов и сложности поверхности в современных условиях выполнения и обработки маркшейдерских съемок.

Практическое значение. Заключается в разработке рекомендаций по определению объемов полезных ископаемых на складах и анализе их возможных погрешностей. С помощью выполненных исследований можно редактировать требования действующей нормативной инструкции 1987, не удовлетворяет современным условиям выполнения и обработки маркшейдерских съемок; предложить параметры вычисления объемов в системе Самаре.

Ключевые слова: *объем, модель, состав, тахеометрическая съемка, приложения, погрешность, топографическая поверхность, горное предприятие, маркшейдерско-геодезические приборы*

ABSTRACT

Purpose. To determine the error of the minerals volume calculation in dumps of mining enterprises due to errors in surface surveying and calculation of volumes with modern application software products.

Research methodology. The results of field surveying of the 13 million m³ dump surface with an electronic total station and GNSS-receiver are used in the work. Theoretical research was performed in the application software product SAMARA (System of mine surveying works automation) using the Fata Morgana module to create models of the dump surface and to calculate its volume with different input parameters.

The results. The errors of determining the mineral volume due to instrumental surveying that were performed with different methods and instruments are presented. It is established that the average error of a point absolute height determination using optical devices is about 45 mm and using electronic total stations of an average accuracy class – 22 mm. According to the results of the analysis the errors in the volumes calculation due to method and technique of creating a three-dimensional model of the surface reach 3%, which is the minimum allowable value for small dumps. The analysis of volumes accuracy calculation due to complexity of a surface and a step of primitive volume elements by means of modeling in the SAMARA software environment is made.

Scientific novelty. The analysis of the mineral volume calculation error in the dumps of mining enterprises that depends on the methods of surveying, selected instruments and the complexity of the surface is made in the modern conditions of performing and processing of mine surveying works.

Practical value. Is to develop recommendations for the determination of mineral volumes in dumps and to analyze of possible errors. With the help of the research it is possible: to edit the requirements of the current mine surveying standard of 1987, which does not meet the modern conditions of performing and processing of mine surveying works; to suggest parameters for volumes calculation in the SAMARA software system.

Keywords: *volume, model, bump, tacheometric surveying, application software, error, topographic surface, mining enterprise, surveying instruments.*