

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРІЩИН МАСИВУ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ НА БЛОЧНИХ
КАР'ЄРАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА**

На сьогодні актуальним є застосування сучасного цифрового обладнання і фотограмметричних методів, які з високою ефективністю дозволяють вирішувати різні технологічні задачі на кар'єрах блочного каменю, пов'язані із тріщинуватістю масиву та виходом якісної блочної продукції.

Головними геометричними параметрами тріщин прийнято їх довжину L_{mp} і площу S_{mp} . Вони визначаються за наступними формулами:

$$L_{mp_i} = \sqrt{(X_{L_i} - X_{0L_i})^2 + (Y_{L_i} - Y_{0L_i})^2 + (Z_{L_i} - Z_{0L_i})^2},$$

$$S_{mp_i} = L_{mp_i} \cdot B_{mp_i} = \sqrt{(X_{L_i} - X_{0L_i})^2 + (Y_{L_i} - Y_{0L_i})^2 + (Z_{L_i} - Z_{0L_i})^2} \otimes$$

$$\otimes \sqrt{(X_{L_i} - X_{0B_i})^2 + (Y_{L_i} - Y_{0B_i})^2 + (Z_{L_i} - Z_{0B_i})^2},$$

де $X_{L_i}, Y_{L_i}, Z_{L_i}, X_{0L_i}, Y_{0L_i}, Z_{0L_i}, X_{0B_i}, Y_{0B_i}, Z_{0B_i}$ – просторові координати точок тріщин; B_{mp_i} – ширина розкриття тріщин.

Значення даних параметрів автором пропонується отримати в результаті тахеометричної зйомки тріщин безвідбивним електронним тахеометром Sokkia Set 550RX. Даний електронний тахеометр оснащений дальноміром RED-techII, який може вимірювати у безвідбивному режимі відстань до 400 м. Проаналізуємо можливість його застосування в якості еталонного вимірювального приладу для отримання координат характерних точок тріщин і визначення їх геометричних параметрів.

Головним критерієм для обґрунтування використання електронного тахеометра у безвідбивному режимі є забезпечення II класу точності визначення довжини тріщин згідно табл. 1.

Розрахунок точності тахеометричної зйомки при визначенні довжини тріщин природного каменю дозволить за вихідними технічними параметрами тахеометра оцінити його придатність для відповідного класу спостережень згідно нормативних вимог, приведених в табл. 1.

Таблиця 1

Класи точності спостережень

Тип вимірювань	Клас точності	Допустима похибка вимірювання розмірів об'єкта, мм
Спеціальні	I	по технічному завданню
Високоточні	II	2-5
Точні	III	10-15
Технічні	IV	20-30
Технічні	V	50-100

Координати точок на поверхні природного каменю, які використовуються для визначення геометричних параметрів тріщин, не є прямо вимірними величинами і отримуються опосередковано за лінійно-кутовими вимірюваннями. Розрахунок точності визначення координат точок виконаємо на основі залежностей просторової полярної засічки. При цьому просторове положення точки визначається за відомими формулами:

$$\Delta X_i = X_i - X_0 = S_i \cos \beta_i \cos \nu_i,$$

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_0 = S_i \sin \beta_i \cos \nu_i,$$

$$\Delta Z_i = Z_i - Z_0 = h_{in} + S_i \sin \nu_i,$$

де X_i, Y_i, Z_i – шукані координати точки; X_0, Y_0, Z_0 – координати вихідної точки центрування тахеометра; S_i – виміряна похила відстань до поверхні об'єкта; β_i – вимірний горизонтальний кут; ν_i – вимірний вертикальний кут; h_{in} – висота приладу над точкою центрування тахеометра.

В результаті диференціювання залежностей (2) отримуємо апіорні СКП визначення координат точки безвідбивним тахеометром:

$$m_{\Delta X_i} = \sqrt{m_{\beta_i}^2 \cdot S_i^2 (\sin \beta_i \cos \nu_i)^2 + m_{\nu_i}^2 \cdot S_i^2 (\cos \beta_i \sin \nu_i)^2 + m_{S_i}^2 \cdot (\cos \beta_i \cos \nu_i)^2},$$

$$m_{\Delta Y_i} = \sqrt{m_{\beta_i}^2 \cdot S_i^2 (\cos \beta_i \cos \nu_i)^2 + m_{\nu_i}^2 \cdot S_i^2 (\sin \beta_i \sin \nu_i)^2 + m_{S_i}^2 \cdot (\sin \beta_i \cos \nu_i)^2},$$

$$m_{\Delta Z_i} = \sqrt{m_{\nu_i}^2 \cdot S_i^2 \cdot (\cos \nu_i)^2 + m_{S_i}^2 \cdot (\sin \nu_i)^2}.$$

де m_{β_i}, m_{ν_i} – похибки вимірювання відповідно горизонтального і вертикального кутів; m_{S_i} – похибка вимірювання відстані.

Розглянемо випадок тахеометричної зйомки масиву природного каменю, при якому $m_{X0} = m_{Y0} = m_{Z0} = m_{h_{in}} = 0$, що характерно для вимірювань, які виконують з однієї жорстко закріпленої точки. В такому випадку отримаємо наступні залежності:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} m_{X_i}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{Y_i}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{Z_i}^2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \beta_i \cos \nu_i & -S_i \cos \beta_i \sin \nu_i & -S_i \sin \beta_i \cos \nu_i \\ \sin \beta_i \cos \nu_i & -S_i \sin \beta_i \sin \nu_i & S_i \cos \beta_i \cos \nu_i \\ \sin \nu_i & S_i \cos \nu_i & 0 \end{bmatrix} \otimes \\ \otimes \begin{bmatrix} m_{S_i}^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\nu_i}^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_{\beta_i}^2 \end{bmatrix} &\cdot \begin{bmatrix} \cos \beta_i \cos \nu_i & \sin \beta_i \cos \nu_i & \sin \nu_i \\ -S_i \cos \beta_i \sin \nu_i & -S_i \sin \beta_i \sin \nu_i & S_i \cos \nu_i \\ -S_i \sin \beta_i \cos \nu_i & S_i \cos \beta_i \cos \nu_i & 0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

Точність тахеометричної зйомки безпосередньо впливає на точність визначення довжини і площі тріщин на поверхні природного каменю.

Забезпечення мінімально необхідних або максимально допустимих просторових похибок довжини тріщин виконується за умовою:

$$\Delta L_{\max}^{\min} \geq Z_q \sqrt{m_{\Delta X}^2 + m_{\Delta Y}^2 + m_{\Delta Z}^2}, \quad (5)$$

де Z_q – коефіцієнт, який залежить від значення довірчої ймовірності p .

Виходячи з принципу рівного впливу [25], точність визначення координат точок $m_{\Delta 0}$ для заданих допустимих похибок довжини тріщин складе:

$$m_{\Delta} \leq \frac{\Delta L_{\max}^{\min}}{Z_q \sqrt{3}}. \quad (6)$$

Враховуючи паспортні дані точності вимірювання тахеометром Sokkia Set 550RX, а саме горизонтальних і вертикальних кутів $m_{\beta} = m_{\nu} = 5''$ і відстаней $m_S = 3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot S$ мм, задамо граничні умови та дослідимо вираз (4) на екстремуми, визначимо СКП координат точок в заданих межах і порівняємо їх із значенням $m_{\Delta 0}$ прийнятого класу точності.

Оскільки відстань зйомки параметрів тріщин не більше 15 м, задамо $S_{\min} = 1$ м, $S_{\max} = 15$ м. Діапазон кутів нахилу приймемо в межах $5^0 \dots 60^0$, виходячи з того, що при відстанях $S = 1 \dots 15$ м і максимальних розмірах об'єкту зйомки $X = 8$ м, $Y = 6$ м, кути нахилу не будуть виходити за дані межі. Експериментальні дослідження визначення координат точок тріщин методом полярної засічки виконані в умовах Покоствівського родовища граніту. Обробка результатів досліджень проведена на основі залежностей (4).

Отже, похибки координат, довжини і площі тріщин в межах прийнятих граничних значень $S \in [1; 100]$, $\beta, \nu \in [0; 85^0]$ і вищенаведених оптимальних величин лінійно-кутових параметрів тахеометричної зйомки мають наступні значення:

$$m_{L_{np}}^{\min} = 2,45 \text{ мм}, m_{L_{np}}^{\max} = 4,21 \text{ мм}, m_{S_{np}}^{\min} = 4,64 \text{ мм}^2, m_{S_{np}}^{\max} = 29,32 \text{ мм}^2.$$

Як видно з результатів обчислень, СКП не перевищують значень $m_{\Delta 0}$ для II класу точності, тобто є задовільними для наших умов зйомки.

Виконані дослідження точності вимірювання координат точок безвідбивними тахеометрами підтвердили можливість їх застосування в якості вимірювальних приладів для отримання еталонних значень параметрів тріщин.