

УДК 622.235

Ващук В.З., Скоростинська О.П., студ. гр.ОБ-91, Фролов О.О., доц., к.т.н., НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ВИБУХУ ПОДОВЖЕНОГО ЗАРЯДУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Для моделювання дії вибуху свердловинного заряду ВР в лабораторних умовах було обрано руйнування моделі з сургучу шпуровими зарядами ТЕНу, оскільки матеріал руйнування – сургуч володіє, при швидкому динамічному навантаженні (відповідає навантаженню при вибуху), крихкістю, яка притаманна скельним гірським породам. Це дозволяє оцінювати дію вибуху на оточуюче середовище та визначати розміри зони руйнування (подрібнення та тріщиноутворення).

Фізико-механічні властивості сургучу наступні:

щільність  $\rho = 1440 \text{ кг/м}^3$ ;

швидкість розповсюдження повздовжньої хвилі  $c_l = 2580 \text{ м/с}$ ;

модуль пружності  $E = 0,95 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ ;

міцність на стиснення  $\sigma_c = 16 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;

міцність на розтягнення  $\sigma_p = 0,75 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;

коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,28$  [150].

Згідно з [1] при вивченні закономірностей розповсюдження хвиль напружень та їх дії на середовище доцільно застосовувати моделювання за допомогою методу еквівалентних матеріалів. Для отримання достовірних даних достатньо застосувати геометричний критерій подібності, рівність міцнісних та пружних властивостей середовищ та критерій Коші.

Відповідно до геометричного критерію подібності всі лінійні величини, що характеризують представлений вибух, віднесені до відповідних радіусів зарядів, повинні бути однакові для моделі і для природи. В натурних умовах використовуються наступні параметри свердловинних зарядів: радіус свердловинного заряду  $R_c = 100 \text{ мм}$ ; довжина свердловини  $L_c = 15000 \text{ мм}$ ; довжина заряду  $l_{зар} = 10000 \text{ мм}$ ; довжина забійки  $l_{заб} = 5000 \text{ мм}$ . В цьому разі геометричні співвідношення для природи дорівнюють:

$$\begin{aligned} L_c/R_c &= 15000/100 = 150; \\ l_{зар}/R_c &= 10000/100 = 100; \\ l_{заб}/R_c &= 5000/100 = 50. \end{aligned} \tag{1}$$

З урахуванням вибору радіусу шпуру в моделі  $R_c = 2 \text{ мм}$  всі інші параметри шпурового заряду будуть дорівнювати: довжина шпуру  $L_{ш} = 30 \text{ мм}$ ; довжина заряду  $l_{зар} = 20 \text{ мм}$ ; довжина забійки  $l_{заб} = 10 \text{ мм}$ .

При застосуванні критерію міцності моделююче середовище повинне мати однакові з натурними умовами коефіцієнт Пуассона, відносні граничні деформації об'єму та здвигу. Характеристики міцності можуть бути різними, але їх відношення до модуля пружності  $\sigma_c/E$ ,  $\sigma_p/E$  повинні бути однаковими.

Для магнетитових кварцитів, що використовуються при вивченні дії вибуху в середовищі, характерні наступні фізичні властивості: щільність породи  $\rho = 3100 \text{ кг/м}^3$ ; критичне значення напруження руйнування на розтягнення  $\sigma_p = 1,8 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ; критичне значення напру-

ження руйнування на стиснення  $\sigma_c = 1,9 \cdot 10^8$  Па; швидкість поширення поздовжніх хвиль у породі  $c_l = 5300$  м/с; модуль пружності  $E = 8,3 \cdot 10^{10}$  Па; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,26$ .

Для сургучу фізико-механічні властивості наступні:  $\rho = 1440$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_l = 2580$  м/с;  $E = 0,95 \cdot 10^{10}$  Па;  $\sigma_c = 16 \cdot 10^6$  Па;  $\sigma_p = 0,75 \cdot 10^6$  Па;  $\nu = 0,28$ .

Відношення характеристик міцності до модуля пружності:

– для магнетитових кварцитів:

$$\begin{aligned}\sigma_c/E &= 1,9 \cdot 10^8 / 8,3 \cdot 10^{10} = 0,23 \cdot 10^{-2}; \\ \sigma_p/E &= 1,8 \cdot 10^7 / 8,3 \cdot 10^{10} = 0,22 \cdot 10^{-3};\end{aligned}\quad (2)$$

– для сургучу:

$$\begin{aligned}\sigma_c/E &= 16 \cdot 10^6 / 0,95 \cdot 10^{10} = 0,17 \cdot 10^{-2}; \\ \sigma_p/E &= 0,75 \cdot 10^6 / 0,95 \cdot 10^{10} = 0,08 \cdot 10^{-3}.\end{aligned}\quad (3)$$

Аналіз співвідношень (2) та (3), а також коефіцієнтів Пуассона для гірської породи та сургучу (відповідно, 0,26 та 0,28) показує, що критерії по міцності для натурних умов та для моделі мають один порядок, а для межі міцності на стиснення і коефіцієнту Пуассона майже збігаються. Тому можна стверджувати, що міцнісний критерій моделювання дії вибуху на навколишнє середовище виконується.

Критерій *подібності Коші* пов’язує пружні і міцнісні характеристики середовища з інерційними силами. Ці співвідношення (число Коші) для середовища і для моделі повинні бути однакові, тобто

$$Ca = \frac{\rho_n \cdot v_n^2}{K_n} = \frac{\rho_m \cdot v_m^2}{K_m}, \quad (4)$$

де  $\rho_n$ ,  $\rho_m$  – щільності середовища в натурі і в моделі, відповідно;  $v_n$ ,  $v_m$  – швидкості розповсюдження хвиль напружень в натурі і в моделі;  $K_n$ ,  $K_m$  – модулі всебічного стиснення для натурі і для моделі: для залістих кварцитів –  $K_n = 1,33 \cdot 10^{10}$ ; для сургучу –  $K_m = 0,14 \cdot 10^{10}$ .

З урахуванням (4) число Коші: для магнетитових кварцитів:  $Ca = 5,15$ ; для сургучу:  $Ca = 6,85$ .

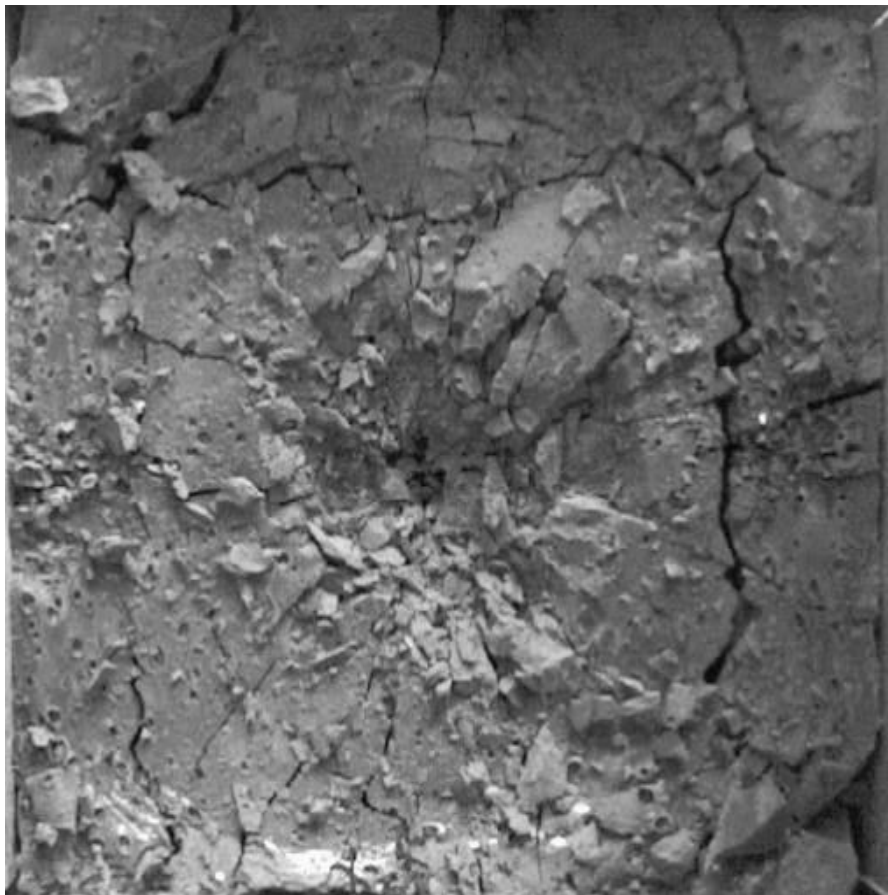
Порівнюючи числа Коші для моделі і натурі, бачимо, що за значеннями вони близькі між собою, тобто критерій Коші при обраному моделюванні також виконується.

Таким чином, отримані співвідношення при моделюванні методом еквівалентних матеріалів для натурального об’єкту (масиву гірських порід) та моделі з сургучу дозволяють стверджувати, що обраний метод моделювання та застосовувані в ньому критерії подібності дозволяють з високою достовірністю описати дію хвиль напружень на гірський масив та процес руйнування при вибуху системи подовжених зарядів.

При оцінці дії вибуху одиночного заряду використовувалася модель з сургучу розмірами 230×230×60 мм. Шпур довжиною 30 мм розміщували в центрі моделі. Довжина заряду ВР становила 20 мм, відповідно, довжина забійки – 10 мм. В якості ВР використовували ТЕН, забійкою слугував пластилін. Ініціювання ТЕНу здійснювалося електрозапалюючим містком з наважкою первинної ініціюючої ВР.

На рис. 1 представлена зона руйнування при вибуху заряду діаметром 5 мм. Маса шпурового заряду ТЕНу становить 373 мг. В зруйнованій моделі сургучу чітко представлена

зона концентричного тріщиноутворення, розмір якої в середньому становить 170 мм, та зона інтенсивного руйнування матеріалу середнім діаметром 108 мм.



*Рисунок 1 – Характерна зона руйнування від вибуху заряду ВР діаметром 5 мм*

Оскільки при руйнуванні моделі з сургучу була отримана зона руйнування з чіткими межами і розмірами, які задовольняють вимогам щодо дослідження взаємодії зарядів, то в подальших дослідженнях будемо використовувати саме таку конструкцію і розміри шпурового заряду.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боровиков В. А. Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород/ В. А. Боровиков, И. Ф. Ванягин. – М.: Недра, 1990. – 231 с.