

УДК 622.235

О.М. Масюкевич, к. ф.-м.н., зав. відділу

Л.В. Кучерук, н.с.

Національний науково-дослідний інститут охорони праці

В.В. Калюжна, к.т.н., доц.

С.Л. Калюжний, інж.

Національний технічний університет України "КПІ"

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБУХУ СВЕРДЛОВИНИХ ЗАРЯДІВ З ПОВІТРЯНИМ РАДІАЛЬНИМ ЗАГОРОМ

(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)

Розглянуто вплив повітряного радіального зазору в свердловині (шпурі) на характеристики ударної хвилі (УХ) продуктів детонації вибухової речовини. Наведені формули, які показують, що амплітуда УХ зменшується, а її ширина і тривалість імпульсу збільшуються.

Технічні процеси подрібнення гірських порід, створення траншей та водовідвідних каналів, в гідротехнічному та меліоративному будівництві вміщують вибухові роботи, при виконанні яких важливим є регулювання енергії вибуху. Один із способів регулювання енергії вибуху – це моделювання конструкції заряду з повітряним радіальним зазором (ПРЗ), що утворюється між зарядом та свердловиною. В роботах [1], [2] вивчалися заряди такої конструкції та отримані значення амплітуди ударної хвилі (УХ), імпульс та його тривалість.

В даній роботі поставлено на меті отримання раціональних параметрів, що характеризують УХ продуктів вибуху (ПВ) зарядів з ПРЗ, які визначають вплив УХ на породу.

Постановка задачі – визначити залежність амплітуди УХ від величини зазору між циліндричним зарядом та утворюючою свердловиною. Потенційна енергія E_n зарядів такої конструкції після їх детонації перетворюється у внутрішню E_e та кінетичну E_k продуктів вибуху (ПВ) [1]. На підставі законів збереження енергії та маси отримаємо (позначення відповідають роботі [1]):

$$E_n = E_e + E_k; \quad (1)$$

$$\rho_{\text{вв}} = \rho_{\text{пв}}.$$

де E_n – потенційна енергія зарядів конструкції, що вивчається, E_e – внутрішня енергія зарядів даної конструкції; E_k – кінетична енергія зарядів; $\rho_{\text{пв}}$ – щільність ПВ; $\rho_{\text{вв}}$ – щільність ВР.

Кінетична енергія утворюється в результаті розльоту ПВ в об'ємі ΔV зазору Δr ($\Delta V = \pi L \Delta r^2$; де L – довжина твірної заряду; $\Delta r = r_c - r_s$; r_c і r_s – радіуси відповідно свердловини та заряду). Отримана в роботі [1] залежність енергії E_e від $(r_s / r_c)^2$ співпадає з передбачуваною залежністю $P \approx A \cdot (r_s / r_c)^2$, де r – плінна координата; A – коефіцієнт пропорційності [3].

При переході від енергії до тиску в свердловині в роботі [1] отримано тиски для осесиметричного P_3 та асиметричного P'_3 розташування заряду в свердловині:

$$P_3 = P_2 \frac{V_3}{V_3 + \Delta V} - \frac{k-1}{V_3 + \Delta V} \cdot \frac{m \cdot u^2}{2} \quad (2)$$

$$P'_3 = \frac{P_2 \pi \cdot r_s^2 - \frac{\rho_{\text{пв}} u^2}{2} (k-1) \cdot \left[\pi (r_c^2 - r_s^2) + 2 r_c \arcsin \frac{\pi \cdot \Delta r}{r_c} \right]}{r_c^2 \left(\pi + 2 \arcsin \frac{\pi \cdot \Delta r}{r_c} \right)}, \quad (3)$$

де V_3 – об'єм заряду вибухової речовини (ВР); m – маса ПВ; u – швидкість руху ударної хвилі (УХ); k – показник ізентропи; P_2 – тиск ПВ в об'ємі заряду (без ПРЗ), що дорівнює $\rho_{\text{вв}} D^2 / 8$ (де D – швидкість детонації).

В роботі [4] висловлено припущення, що на відстанях r_3 величина E_k на фронті УХ складає 2...3 % від E_a та нею можна нехтувати. Однак дане припущення не завжди є правдивим, оскільки в ряді випадків ця енергія може бути значно більшою. Наприклад, якщо перетворити (2) до вигляду:

$$\frac{P_3}{P_2} = \left(\frac{r_3}{r_c}\right)^2 - 4(k-1) \left(\frac{\Delta r}{r_c}\right)^2 \frac{\rho_{ne}}{\rho_{es}} \frac{u^2}{D^2} \quad (4)$$

та виконати розрахунки для всіх випадків: перший – $r_3 = 90$ мм, $r_c = 125$ мм ($\Delta r = 35$ мм) та другий – $r_3 = 75$ мм, $r_c = 160$ мм ($\Delta r = 85$ мм) для ТЕНу ($\rho_{es} = 1,69$ г/см³, $\rho_{ne} = 1,69$ г/см³, $D = 8400$ м/сек., $u = 7700$ м/сек.) [4] і $k = 1,4$ [5], отримаємо відповідно для першого випадку відношення: $P_3 / P_2 = 0,49$ та для другого – $P_3 / P_2 = 0,1197$. З аналізу P_3 / P_2 видно, що в першому випадку E_k складає 5,4 %, а в другому – 45,9 % від E_a .

Таким чином, збільшення ПРЗ в свердловині в 2,5 разів призводить до збільшення E_k в 3,75 разів та зменшення E_a в 2,35 разів. Тому E_k можна не враховувати тільки тоді, коли $r_3 / \Delta r < 20 \dots 25$, тобто Δr не повинно перебільшувати 3,5...4,0 мм.

При нормальному падінні УХ на межу „повітря–порода”, тиск УХ в середовищі пропорційний тиску в зарядній камері та залежить від акустичних властивостей порід [6]. Тиск в середовищі при наявності ПРЗ в свердловинному заряді дорівнює:

$$P_n = \frac{2P_3}{\left(1 + \frac{\rho_{es}D}{\rho_c D_c}\right)} = \frac{\left(\frac{P_3 V_3}{V_3 + \Delta V} - \frac{k-1}{V_3 + \Delta V} \frac{m \cdot u^2}{2}\right)}{\left(1 + \frac{\rho_{es}D}{\rho_c D_c}\right)}, \quad (5)$$

де ρ_c – щільність породи; D_c – швидкість УХ порід. У випадку асиметричного розташування заряду в свердловині за підрахунками P_n за формулою (4) слід замість P_3 використовувати P_3' .

Якщо можливе попереднє визначення тиску P_3 , яке забезпечує вихід заданої фракції породи при подрібненні, а радіус заряду змінювати неможливо, то отримати задане значення тиску P_3 можливо змінюючи величину ПРЗ. В цьому випадку величину зазору можна визначити з рівняння :

$$\Delta r^2 + 2r_3 \Delta r - r_3^2 (P_2 - P_3) / P_3 = 0. \quad (6)$$

Для більш повної реалізації енергії вибуху в заряді даної конструкції є облік швидкості прикладання навантаження u_n на породу, яку руйнують. Це характеристика залежить в основному від типу В та визначається часом хімічної реакції з урахуванням максимального тиску P_{max} в зарядній камері [7]. При цьому слід також враховувати те, що P_{max} дорівнює P_3 або P_3' , а вимагаємо швидкість збільшення тиску на фронті УХ, крім типу ВР, його структури та діаметру заряду, можна змінювати величиною зазору Δr .

$$u_n = \frac{P_3 \bar{k}}{E'} = \frac{\bar{k}}{E'} \left[\frac{\rho_{es} D^2}{8} \left(\frac{r_3}{r_c}\right)^2 - \frac{k-1}{2} \left(\frac{\Delta r}{r_c}\right)^2 \rho_{ne} u^2 \right]. \quad (7)$$

де \bar{k} – коефіцієнт, що зменшує вихід некондиційних фракцій при подрібненні порід ($3 \leq \bar{k} \leq 5$) [7]; E' – модуль пружності. При асиметричному розташуванні заряду в свердловині у формулі (7) замість P_3 слід враховувати P_3' .

В цьому випадку імпульс впливу УХ на породу дорівнює $I = P \cdot t_n$ (P – тиск, t_n – тривалість імпульсу). При наявності ПРЗ в свердловині імпульс та тривалість дії УХ на породу визначені в роботі [2]. Добуток тривалості імпульсу та швидкості зростання тиску на породу визначає ширину амплітуди d_{ye} УХ (рис. 1):

$$d_{y\delta} = u_n t_n = \frac{\bar{k}}{E} \left[\frac{P_2 r_3}{u} \left(1 - \frac{r_3}{r_c + r_3} \right) - \frac{k-1}{2} r_3 \rho_{nv} u \left(\frac{r_c}{r_3} - \frac{r_3}{r_c + r_3} - 2 \lg \frac{r_c + r_3}{r_3} - \frac{1}{2} \right) \right] \quad (8)$$

Ширина амплітуди $d_{y\delta}$ УХ є одним з параметрів, що характеризують фізичну ефективність вибуху.

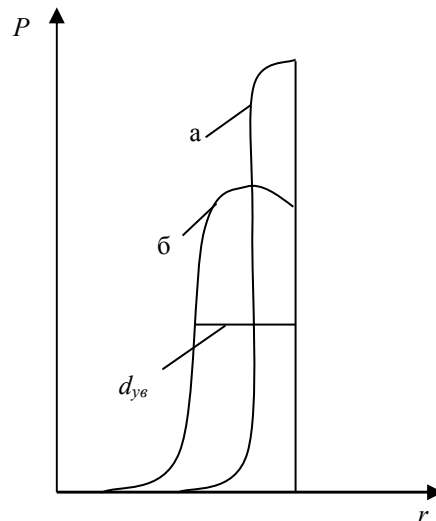


Рис. 1. Амплітуди УХ: а – без ПРЗ; б – при наявності ПРЗ;
 $d_{y\delta}$ – ширина амплітуди

Аналіз формул (5), (7), (8) показує, що наявність ПРЗ призводить до зменшення величини амплітуди УХ, зниження початкового пікового тиску, але збільшує її ширину (рис. 1), і таким чином збільшує тривалість імпульсу впливу УХ на оточуюче середовище, що призводить до скорочення витрат енергії на дисипативні втрати, в результаті чого значно збільшується коефіцієнт корисної дії енергії вибуху.

Отримані розрахункові формули та висновки можуть бути використані як при виборі рецептури ВР, так і методів керування енергією вибуху, наприклад цілеспрямованому руйнуванню гірських порід.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Застосування зарядів з повітряним зазором для підвищення безпеки та ефективності вибухів у свердловинах / В.Д. Воробйов, О.М. Масюкувич, В.С. Прокопенко, І.В. Косьмін // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП. – 2000. – Вип. 3. – С. 18–25
2. Вплив повітряного радіального зазору в свердловині з зарядом на параметри імпульсу вибуху / В.Д. Воробйов, О.М. Масюкувич, В.С. Прокопенко, І.В. Косьмін // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП. – 2002. – Вип. 5.
3. Адушкин В.В. Сухотин А.П. О разрушении твердой среды взрывом // ПМТФ. – 1961. – № 4. – С. 94–101.
4. Мендели Э.О. Разрушение горных пород. – М.: Недра, 1974. – 600 с.
5. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. – М.: Наука, 1971. – 854 с.
6. Друкованый М.Ф. Методы управления взрывом на карьерах. – М.: Недра, 1973. – 415 с.
7. Основы теории и методы взрывного дробления горных пород / Под ред. В.М. Комира. – Киев: Наук. думка, 1979. – 224 с.

МАСЮКЕВИЧ Олександр Михайлович – кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник Національного науково-дослідного інституту охорони праці.

Наукові інтереси:
– вибухові роботи;
– гірництво.

КУЧЕРУК Людмила Володимирівна – науковий співробітник Національного науково-дослідного інституту охорони праці.

Наукові інтереси:
– вибухові роботи;

– гірництво.

КАЛЮЖНА Вікторія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- фізичні процеси гірничого виробництва.

КАЛЮЖНИЙ Сергій Леонідович – інженер Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- механіка гірських порід.

Подано 25.01.2004

Масюкевич О.М., Кучерук Л.В., Калюжна В.В., Калюжний С.Л. Оцінка енергетичних характеристик вибуху свердловинних зарядів з повітряним радіальним зазором

Масюкевич А.М., Кучерук Л.В., Калюжная В.В., Калюжный С.Л. Оценка энергетических характеристик взрыва скваженных зарядов с воздушным радиальным зазором

Masukevich A.M., Kucheruk L.V., Kaluzhna V.V., Kaluzhny S.L. Estimation of the power characteristics of detonating of well charges with an air radial space.

УДК 622.235

Оцінка енергетичних характеристик вибуху свердловинних зарядів з повітряним радіальним зазором / Масюкевич О.М., Кучерук Л.В., Калюжна В.В., Калюжний С.Л. //

Розглянуто вплив повітряного радіального зазору в свердловині (шпурі) на характеристики ударної хвилі (УХ) продуктів детонації вибухової речовини. Наведені формули показують, що амплітуда УХ зменшується, а її ширина і тривалість імпульсу збільшуються.

УДК 622.235

Оценка энергетических характеристик взрыва скваженных зарядов с воздушным радиальным зазором / Масюкевич А.М., Кучерук Л.В., Калюжная В.В., Калюжный С.Л. //

Рассмотрено влияние воздушного радиального зазора в скважине (шпуре) на характеристики ударной волны (УВ) продуктов детонации взрывчатого вещества. Приведённые формулы показывают, что амплитуда УВ уменьшается, а её ширина и продолжительность импульса увеличиваются.

УДК 622.235

Estimation of the power characteristics of detonating of well charges with an air radial space / Masukevich A.M., Kucheruk L.V., Kaluzhna V.V., Kaluzhny S.L. //

Influencing air gap in well (blasthole) on the characteristic of a shockwave (SW) of products of detonation of an explosive is reviewed. The reduced formulas demonstrate, that the amplitude of a shockwave decreases, and width and pulse duration are augmented.