

УДК 622.235+679.85

Марчук А.Л., Шукюров А.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», м. Київ, Україна*

Поплавський В.А.

*Національний НДІ промислової безпеки та охорони праці*

## УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЧНИМ ЕФЕКТОМ ВИБУХУ ЗАРЯДІВ КОНТАКТНОЇ ДІЇ

В певних складних умовах ведення гірничих робіт метод накладних зарядів вибухових речовин (ВР) заслуговує на увагу в першу чергу завдяки свої простоті через відсутність потреби в зарядній виробці. Однак відомо, що доля енергії накладного заряду, яка витрачається цим зарядом на руйнування межі контакту з середовищем, значно менша порівняно з дією такого ж заряду в умовах камуфлету. Оскільки місцева дія заряду визначається рівнем бризантності ВР, простим рішенням щодо збільшення місцевої дії накладного заряду є застосування відповідних високоенергетичних ВР.

Для спрощення задачі визначення ефективних параметрів накладного заряду, вважаємо, що найпростіше формувати такий заряд в циліндричній оболонці. Покажемо, на основі яких фізичних ефектів можливо посилити руйнівну здатність накладного заряду постійної маси, скориставшись результатами робіт [1-3].

Як відомо [4,5], бризантність заряду в першому наближенні оцінюють величиною повного  $I$  чи питомого  $i = I/s$  (де  $s$  – площа контакту заряду з перешкодою) імпульсів при відбитті детонаційної хвилі від перешкоди. У разі плоскої детонаційної хвилі та одномірного руху продуктів детонації повний імпульс визначається виразом:

$$I = \frac{8}{27} s \rho l D = \frac{8}{27} Q D, \quad (1)$$

де  $s$  – площа поперечного перерізу заряду;  $\rho$  – густина ВР;  $l$  – довжина заряду;  $D$  – швидкість детонування ВР;  $Q = sl\rho$  – повна (загальна) маса заряду.

Вплив густини ВР на величину імпульсу проявляється двічі – за рахунок зміни маси заряду та швидкості детонування ВР згідно з виразом  $D = A\rho^n$  [4], де  $A$  і  $n$  – константи для конкретної бризантної ВР.

Стосовно циліндричного заряду, який детонує з одного торця, а другим контактує з перешкодою, в умовах реального тривимірного руху продуктів детонації на величину імпульсу впливає не повна маса заряду, як це впливає із виразу (1), а тільки маса  $m_a$  його активної частини, продукти детонування якої розлітаються в напрямку перешкоди. Отже, для ВР з постійними детонаційними характеристиками величина імпульсів визначається відповідно

загальною  $m_a$  і питомою  $m_{an} = m_a / s$  активними масами заряду. Вбік поширення детонації розлітається  $4/9$  маси ВР, яка відділяється від загального об’єму. При збільшенні довжини заряду з постійним діаметром  $d$  обидві активні маси збільшуються, прямуючи до певної межі. Гранична довжина заряду  $l_2 = 9d/4$ . У цьому разі гранична активна маса  $m_{a2}$  займає об’єм повного конуса з діаметром основи  $d$  та довжиною (висотою), рівною граничній довжині активної частини заряду  $l_{a2} = 4l_2/9 = d$  (рис.1, а), і становить

$$m_{a2} = \pi d^3 / 12 \quad (2)$$

Якщо  $l < l_2$ , то активна маса визначається об’ємом зрізаного конуса з довжиною

$l_a = 4l/9$ , діаметрами великої  $d$  і малої  $d_1 = h_1 = l_{a2} - l_a$  основ, тобто

$$m_a = \pi \rho (d^3 - d_1^3) / 12. \quad (3)$$

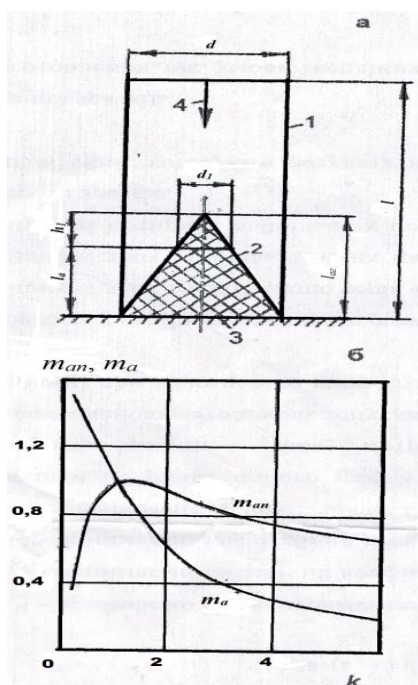


Рис.1. Схема до розрахунку (а) та розрахункові залежності зведених загальної і питомої активних мас заряду від параметра  $k$  (б): 1 – заряд ВР; 2 – активна маса заряду; 3 – перешкода; 4 – напрямок поширення детонації

У разі, коли довжина заряду залишається незмінною, а його діаметр збільшується, активна маса заряду теж зростає, асимптотично наближаючись до певної межі. В обох розглянутих випадках (зміна довжини та діаметра) також змінюється загальна маса заряду, тобто загальні витрати енергії ВР. Цікаво встановити, як змінюється активна маса, а отже, і бризантність циліндричного заряду залежно від величини відношення його довжини до діаметра при постійній загальній масі  $Q = \pi d^3 \rho k / 4$ , де  $k = l/d$ . За такої умови одночасно змінюються обидва геометричні параметри заряду – довжина та діаметр, причому їхній вплив різнонаправлений, оскільки  $l$  знаходиться в прямій, а  $d$  – в оберненій залежності від величини  $k$ .

Підставляючи значення  $d = (4Q / \pi \rho k)^{1/3}$  у формули (2) і (3) та виконуючи необхідні перетворення, знаходимо вирази для загальної і питомої активних мас заряду:

при  $k \geq 9/4$

$$m_a = \frac{Q}{3k}, m_{an} = \frac{m_a}{s} = \frac{1}{3} (4Q\rho^2 / \pi k)^{1/3};$$

при  $k \leq 9/4$

$$m_a = \frac{4}{9} Q \left( 1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243} \right), \quad (4)$$

$$m_{an} = \frac{4}{9} (4Q\rho^2 k^2 / \pi)^{1/3} \left( 1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243} \right). \quad (5)$$

Щоб виключити загальну масу заряду, отримані залежності подамо у зведеному вигляді:  $m_a = m_a / m_{a1}$ ,  $m_{an} = m_{an} / m_{an1}$ , де  $m_{a1}$  і  $m_{an1}$  – відповідно загальна та питома активні маси заряду при  $k = 1,0$ , тобто коли висота й діаметр циліндричного заряду рівні між собою. Із (4) і (5) при  $k = 1,0$  маємо:

$$m_{a1} = \frac{604Q}{2187}, m_{an1} = \frac{604}{2187} (4Q\rho^2 / \pi)^{1/2}.$$

За допомогою цих виразів знаходимо формули для зведених активних мас заряду:

при  $k \geq 9/4$

$$m_a = 729/604k, m_{an} = 729/604k^{1/3};$$

при  $k \leq 9/4$

$$m_a = \frac{243}{151} \left( 1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243} \right),$$

$$m_{an} = \frac{243k^{2/3}}{151} \left( 1 - \frac{4k}{9} + \frac{16k^2}{243} \right) = m_a k^{2/3}.$$

Кожна із отриманих останніх чотирьох формул відповідає тільки вказаним діапазнам  $k$ , однойменні з них попарно спрягаються при  $k = 9/4$ , утворюючи загальні залежності (рис.1, б). Вони свідчать, що зведені активні маси заряду, а отже, і бризантна дія вибуху, суттєво залежать від параметра  $k$ . При збільшенні довжини й відповідному зменшенні діаметра циліндричного заряду постійної маси зведена загальна активна маса монотонно знижується із затухаючою інтенсивністю. Питома зведена активна маса має чіткий максимум при  $k = 1,3$ , рівний 1,0. Значення  $m_{an}$  зліва від максимуму зменшуються дуже швидко, справа – повільно.

Отримані закономірності мають важливе практичне застосування: можливість керувати бризантною дією накладного циліндричного заряду постійної маси зміною його геометричних розмірів, тобто параметра  $k$ . У тих випадках, коли потрібно забезпечити максимальне питома навантаження на перешкоду, заряд повинен мати  $k = 1,3$ . Якщо необхідно збільшити загальну

бризантну дію вибуху, слід застосувати заряди малої висоти й великого діаметра ( $k < 1,3$ ).

Необхідно зазначити, що для реальних умов використання зовнішніх зарядів встановлені розрахункові залежності можуть зазнавати деякої зміни за таких основних причин. По-перше, при ініціюванні заряду на його осі фронт детонування, на відміну від прийнятого в розрахунковій схемі, не буде плоским і паралельним до поверхні перешкоди. Відхилення від ідеалізованого розрахункового положення фронту збільшується із ростом діаметра та зменшенням довжини заряду. Непостійність кута падіння детонаційної хвилі на перешкоду та неодноразовість її приходу до різних точок перешкоди в межах контактної площі позначається на величині бризантності вибуху: вона зменшується при відхиленні напрямку детонування від нормального до перешкоди.

По-друге, зміна розмірів зарядів промислових ВР супроводжується зміною параметрів детонації – швидкості та тиску. До того ж, в коротких зарядах детонація не завжди встигає вийти на стаціонарний режим і при потужних ініціаторах має підвищені параметри. Зазначені ефекти реальних зарядів мають проявитися на величині бризантної дії вибуху. Врахувати їх можливо тільки експериментальним шляхом. У зв'язку з тим, що активна маса циліндричного заряду має форму конуса, виконано дослідження раціональної форми конічного заряду, яка характеризується кутом  $\varphi$  між твірною та основою зрізаного конуса.

Щодо підривання накладних зарядів оболонка зовнішніх зарядів повинна забезпечити максимально можливе руйнування в заданому напрямку та одночасно має гасити ударну повітряну вибухову хвилю, а також бути дешевою і недефіцитною. Цим вимогам найкраще відповідає дрібнодисперсна порода (пісок, відходи дробильного виробництва) засипка зарядів.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Поплавский В.А., Гржибовский В.В., Курилович Н.Н. Совершенствование дробления негабарита наружными зарядами / К., (Препринт АН УССР. Ин-т геофизики). 1989 – 36 с.

2. Поплавский В. А., Гржибовский В. В. Повышение бризантного действия наружного заряда / Нетрадиционные технологии взрывных работ. Сб. научн. Трудов АН Украины. От-ние геодинамики взрыва ин-та геофизики. – К.:Наук. думка, 1992. – С. 16-22.

3. Поплавский В. А. Повышение дробящего действия наружных зарядов ВВ / К., 1991. – 32 с. (Препринт АН УССР. Ин-т геофизики).

4. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкевич и др. Под ред. К. П. Станюкевича. Изд. 2-е. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

5. Физика взрыва. Под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. В 2-х т. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – Т.2. – 656 с.