

Л.Д. Воробйова, ст. викл.

Г.В. Славко, к.т.н., доц.

Кременчуцький державний політехнічний університет

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ БОЙОВИКІВ У РОЗОСЕРЕДЖЕНОМУ ЗАРЯДІ

У статті розглянуто питання раціонального розташування бойовиків у розосередженому заряді при використуванні кумулятивного ефекту в нижній частині верхнього заряду. Одержано прості залежності, які дозволяють при проектуванні масових вибухів розраховувати геометричні параметри розташування бойовиків для різних типів вибухових речовин і довжин повітряного проміжку.

Розробка корисних копалин, складених міцними гірськими породами, в основному здійснюється з використанням вибухових робіт. В даний час більше 80 % обсягів гірських порід на залізничних кар'єрах розробляється із застосуванням буропідричних робіт, кінцевий результат яких зумовлює ефективність всіх подальших технологічних процесів добування і переробки корисних копалин. Із збільшенням глибини кар'єрів і залученням в розробку міцних і щонайміцніших порід ускладнюються умови виробництва вибухових робіт, знижуються техніко-економічні показники відбою, що вимагає їх постійного вдосконалення.

Останнім часом одним з перспективних напрямів підвищення ефективності вибухових робіт є використання свердловинних зарядів у полімерних рукавах. Застосування таких зарядів дозволяє істотно знизити витрати на вибухові речовини (ВР) за рахунок заміни дорогих водостійких ВР неводостійкими простими складовими. Впровадження даного способу вибуху на підприємствах гірничодобувної галузі України (Полтавський ГЗК, Докучаєвський флюсо-доломітний комбінат та ін.) підтвердило його перспективність. Виходячи з цього, подальше вдосконалення даного способу, зокрема розробка раціональних конструкцій розосереджених свердловинних зарядів у полімерних рукавах, є актуальним науково-технічним завданням вибухової справи, успішне рішення якої дозволить підвищити ефективність вибухового руйнування гірських порід і одержати значний економічний ефект. Одним з перспективних методів досягнення цієї мети є використання кумулятивного ефекту в зоні повітряного проміжку [1, 2].

У роботі [1] встановлено, що розосереджений заряд працюватиме найефективніше, якщо завершення детонації верхнього заряду відбудеться у момент досягнення фронтом ударної хвилі від нижнього заряду кумулятивної виїмки. Це може бути забезпечено в тому випадку, якщо правильно підібрані уповільнення або відповідним чином встановлені бойовики в нижній і верхній частинах розосередженого заряду. У даній статті розглянемо більш технологічний, з нашої точки зору, другий варіант.

Нехай у верхньому заряді бойовик розташований на відстані l_{1b} від його нижнього обрізу, а в нижньому заряді – на відстані l_{2b} . Довжина повітряного проміжку складає h_{VP} . Обидві частини заряду складаються з одного і того ж типу ВР. Отже, виходячи з прийнятого припущення, ми матимемо наступну рівність:

$$\frac{l_{1b}}{D} = \frac{l_{2b}}{D} + \frac{h_{VP}}{D_{VB}}, \quad (1)$$

де D – швидкість детонації ВР, м/с; D_{VB} – середня швидкість фронту ударної хвилі на ділянці повітряного проміжку, м/с.

У зв'язку з цим одним з невизначених параметрів є швидкість фронту ударної хвилі. Для встановлення взаємозв'язку даної швидкості з параметрами розосередженого заряду розглянемо подовжений циліндровий заряд з повітряним проміжком завдовжки h_{VP} . Хай у момент $t = 0$ в перетині $x = 0$ починається витік продуктів детонації (ПД) нижнього заряду. Відомо, що у фронті потужної детонаційної хвилі початкові параметри ПД визначаються у вигляді:

$$u_H = \frac{D}{k+1}, \quad c_H = \frac{k}{k+1} D, \quad P_H = \frac{\rho_{VV} D^2}{4}, \quad (2)$$

де u_H – швидкість руху продуктів вибуху, м/с; c_H – швидкість розповсюдження звуку в продуктах вибуху, м/с; ρ_H – густина газоподібних продуктів вибуху, кг/м³; P_H – тиск у фронті детонаційної хвилі, Па; ρ_{VV} – густина ВР, кг/м³; k – показник степеня ізоентропи.

Детонаційна хвиля великої інтенсивності при підході до межі ВР і повітряного проміжку утворює потужну ударну хвилю. Для малого проміжку часу цю ударну хвилю можна вважати стаціонарною, що

розповсюджується з постійною швидкістю. При цьому виконується умова постійності параметрів руху між ударною хвилею і межею розділу "ПД-повітря". На фронті ударної хвилі, що розповсюджується по повітряному проміжку, виконується умова збереження маси і кількості руху:

$$\rho_1(D_{1y} - u_1) = \rho_a(D_{1y} - u_a), \rho_1(D_{1y} - u_a)(u_1 - u_a) = P_1 - P_a, \tag{3}$$

де ρ_1, u_1, P_1 – густина, швидкість і тиск стисненого повітря за фронтом ударної хвилі; ρ_a, u_a, P_a – початкова густина, швидкість і тиск перед фронтом ударної хвилі; D_{1y} – швидкість падаючої ударної хвилі, м/с.

Крім того, на межі розділу "ПД-повітря" мають місце умови, що визначають рівність тиску і швидкостей $u_x = u_1, P_x = P_1$.

З теорії детонаційних хвиль [3] відомо, що швидкість руху ПД на межі розділу середовищ визначається наступною залежністю:

$$u_x = \frac{D}{k+1} \left\{ 1 + \frac{2k}{k-1} \left[1 - (P_x/P_H)^{\frac{k-1}{2k}} \right] \right\}, \tag{4}$$

де P_x – тиск на межі розділу "ПД-повітря", Па.

Беручи до уваги, що перед фронтом сильної ударної хвилі повітря знаходиться в стані, коли $u_a = 0$ і $P_a \ll P_1$, з рівняння (3) одержуємо:

$$u_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\rho_a} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_1} \right)}. \tag{5}$$

Відомо [3], що для потужних ударних хвиль має місце наступне співвідношення:

$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = \frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a + 1}, \tag{6}$$

де γ_a – показник ізоентропи повітря (для великого тиску його величина рівна 1, 2).

Підставляючи значення відношення густини з (6) в (5) маємо зручніший для розрахунків вираз швидкості

$$u_1 = \sqrt{\frac{2P_1}{(\gamma_a + 1)\rho_a}}. \tag{7}$$

Використовуючи умови на межі розділу "ПД-повітря" ($u_x = u_1, P_x = P_1$) з (4) і (7) одержуємо наступну залежність між параметрами ВР і тиском:

$$\frac{D}{k+1} \left\{ 1 + \frac{2k}{k-1} \left[1 - (P_x/P_H)^{\frac{k-1}{2k}} \right] \right\} = \sqrt{\frac{2P_x}{(\gamma_a + 1)\rho_a}}. \tag{8}$$

З цієї формули визначається тиск у падаючій хвилі по повітряному проміжку і параметри всієї решти її руху (табл. 1).

Таблиця 1

Тиск у падаючій хвилі та її швидкість для різних типів ВР

Тип ВР	Густина ВР, кг/м ³	Швидкість детонації ВР, м/с	Розрахункове значення P_1 , Па	Розрахункове значення u_1 , м/с
Грамоніт 79/21	1000	3600	13,5	3166
Акватол Т-20	1500	5600	33,7	5003
Грануліт Д-5	1260	3700	14,5	3284
Тетрамон ГС-2	700	2380	5,7	2060

Зокрема, визначивши P_x і u_1 , знаходимо початкову швидкість фронту ударної хвилі:

$$D_{1y} = \frac{P_1 - P_a}{\rho_a u_1}, \tag{9}$$

де ρ_a – густина незбуреного повітря ($\rho_a \approx 1,2249$ кг/м³).

При одномірному русі в трубі (аналог повітряного проміжку) закон зміни тиску в ударній хвилі (P_y) залежно від довжини повітряного проміжку спрощено може бути записаний у вигляді:

$$\frac{P_y - P_a}{P_1 - P_a} = \left(\frac{l}{l + h_{VP}} \right)^{1,3}, \text{ або } \Delta P = (P_1 - P_a) \left(\frac{l}{l + h_{VP}} \right)^{1,3},$$

де ΔP – надмірний тиск, Па.

При проходженні всієї довжини повітряного проміжку швидкість фронту ударної хвилі матиме величину, що дорівнює:

$$D_{1yk} = \frac{P_1 - P_a}{\rho_a u_1} \left(\frac{l}{l + h_{VP}} \right)^{1,3}$$

Вважаючи, що швидкість фронту ударної хвилі змінюється лінійно по довжині повітряного проміжку, можна припустити, що її середня швидкість буде дорівнювати:

$$D_{yD} = (D_{1y} + D_{1yk})/2$$

При виконанні числових розрахунків будемо вважати, що довжина колонки ВР заряду свердловини складає 8 м, а величина повітряного проміжку змінюватиметься в межах від 1 до 3 м. Зміна середньої швидкості фронту ударної хвилі залежно від довжини повітряного проміжку наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Зміна середньої швидкості руху фронту ударної хвилі по повітряному проміжку

Тип ВР	Швидкість детонації, м/с	Середня швидкість фронту ударної хвилі (м/с) при довжині повітряного проміжку (м)		
		1	2	3
Грамоніт 79/21	3600	3209	3020	2869
Акватол Т-20	5600	5093	4792	5453
Грануліт Д-5	3700	3325	3129	2973
Тетрамон ГС-2	2380	2068	1946	1849

Знаючи середню швидкість фронту ударної хвилі по повітряному проміжку, залежність (1) можна представити в наступному вигляді:

$$\frac{h_{VP}}{D_{yB}} = \frac{1}{D} (l_{1b} - l_{2b}), \text{ або } \frac{h_{VP}}{D_{yB}} = \frac{1}{D} \Delta l$$

Остаточо маємо наступну залежність:

$$\Delta l = \frac{D}{D_{yB}} h_{VP} \tag{10}$$

Перетворимо тепер табл. 2 до такого вигляду щоб була можливість оцінити зміну відношення швидкості детонації ВР до швидкості фронту ударної хвилі (табл. 3).

Таблиця 3

Перевищення швидкості детонації ВР над середньою швидкістю руху фронту ударної хвилі

Тип ВР	Швидкість детонації, м/с	Відношення швидкості детонації до середньої швидкості фронту ударної хвилі при довжині повітряного проміжку (м)		
		1	2	3
Грамоніт 79/21	3600	1,12	1,19	1,25
Акватол Т-20	5600	1,1	1,17	1,23
Грануліт Д-5	3700	1,11	1,18	1,24
Тетрамон ГС-2	2380	1,15	1,22	1,29
Середнє значення відношення		1,12	1,19	1,252

Аналіз одержаних результатів показує (табл. 3), що при одній і тій самій довжині повітряного проміжку це відношення змінюється не істотно (в межах 3%). Отже при проведенні практичних розрахунків ми можемо замінити відношення D/D_{yB} його середнім значенням для заданої величини повітряного проміжку (10). Таким чином, різниця у відстанях до межі ВР і повітряного проміжку залежно від його довжини складатиме:

довжина повітряного проміжку, м	1	2	3
Δl	1,12	2,38	3,756

Якщо ж параметри подовженого розосередженого заряду не дозволяють розташувати верхній бойовик так, щоб витримувалося наведене вище співвідношення, то в цьому випадку необхідно верхній заряд ініціювати з уповільненням. Величина цього уповільнення повинна визначатися з наступної залежності:

$$t_{zam} = \frac{l_{2b}}{D} + \frac{h_{VP}}{D_{yB}} - \frac{l_{1b}}{D},$$

Таким чином, шляхом теоретичного аналізу процесів, які відбуваються в зоні повітряного проміжку, одержані зручні для практичного використання залежності для розрахунку місця розташування бойовиків у розосередженому заряді, верхня частина якого має кумулятивну виїмку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Воробьева Л.Д. Исследование влияния кумулятивного эффекта на давление в воздушном промежутке при взрыве рассредоточенного заряда // Вісник НТУУ "КПІ" / Гірництво: Зб.наук. праць. – К.: НТУУ "КПІ". – 2005. – Вип. 12. – С. 53–58.
2. Пат.на корисну модель 6916 Україна: МПК F42D1/02. Кумулятивний замикаючий пристрій // В.Т. Щетинін, Г.В. Славко, Л.Д. Воробйова та ін. – Заявлено 04.01.05. – Опубл. 16.05.05. – Бюл. № 5. – 3 с.
3. Физика взрыва / Под ред. Л.Н. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. – Т. 2. – М.: Физматлит, 2004. – 656 с.

ВОРОБЙОВА Лариса Дмитрівна – старший викладач Кременчуцького державного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– дослідження та розробка методів керування вибуховим руйнуванням гірських порід.

Тел.: +38-(05366)-31015.

СЛАВКО Геннадій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент Кременчуцького державного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання швидкоплинних динамічних процесів.

Тел.: +38-(05366)-36127.

E-mail axxiss@yandex.ru

Подано 16.06.06

Воробйова Л.Д., Славко Г.В. Теоретичне обґрунтування раціонального розміщення бойовиків у розосередженому заряді

Воробьева Л.Д., Славко Г.В. Теоретическое обоснование рационального размещения боевиков в рассредоточенном заряде

Vorobjova L.D., Slavko G.V. Theoretical investigation of rational position of percussive fuzes in the unconcentrated shot

УДК 622.235

Теоретичне обґрунтування раціонального розміщення бойовиків у розосередженому заряді / Л.Д. Воробйова, Г.В. Славко

У статті розглянуті питання раціонального розташування бойовиків в розосередженому заряді при використанні кумулятивного ефекту в нижній частині верхнього заряду. Одержані прості залежності, які дозволяють при проектуванні масових вибухів розраховувати геометричні параметри розташування бойовиків для різних типів вибухових речовин і довжин повітряного проміжку.

УДК 622.235

Теоретическое обоснование рационального размещения боевиков в рассредоточенном заряде / Л.Д. Воробьева, Г.В. Славко

В статье рассмотрены вопросы рационального расположения боевиков в рассредоточенном заряде при использовании кумулятивного эффекта в нижней части верхнего заряда. Получены простые зависимости, которые позволяют при проектировании массовых взрывов рассчитывать геометрические параметры расположения боевиков для различных типов взрывчатых веществ и длин воздушного промежутка.

УДК 622.235

Theoretical investigation of rational position of percussive fuzes in the unconcentrated shot / L.D. Vorobjova, G.V. Slavko

Problems of rational position of percussive fuzes in the unconcentrated shot at the use of cumulative effect in lower part of upper shot are investigated in the article. Simple dependences which allow to calculate geometrical parameters of the position of percussive fuzes for different types of explosives and lengths of air interval for the projection of mass explosions are obtained.