

УДК 622.235

М.Т. Бакка, д.т.н., проф.
Житомирський державний технологічний університет
О.С. Жмуденко, к.т.н.,
Л.В. Шайдецька, аспір.
Національний технічний університет України „КПІ”

ВИБУХОВА ПІДГОТОВКА ПОРОЖНИНИ В СЛАБОЗВ'ЯЗАНИХ ҐРУНТАХ

Наводиться аналітичне розв'язання та числова оцінка параметрів системи лінійних зарядів, призначених для утворення суцільної вертикальної щілини, для закладання елементів споруди типу „стіна в ґрунті” із застосуванням комбінованого вибухового методу.

Постановка проблеми. В практиці гірничої справи приходиться застосовувати різні технології спрямованого руйнування гірських порід. Спрямоване руйнування забезпечується механічними, фізико-технічними і вибуховими методами. Гірські породи характеризуються різними фізико-механічними і технологічними властивостями, а відповідно для кожного способу спрямованого руйнування будь-яким із перерахованих способів необхідне ретельне обґрунтування технологічних параметрів. Утворення щілин в гірських породах за допомогою вибуху є досить поширеним. Застосування лінійних зарядів практикується для утворення щілин оголення при видобуванні блоків декоративного каменю, при проведенні меліоративних каналів, для будівництва каналів з метою осушення родовищ торфу та в інших цілях.

Вивченість питання. Теоретичними обґрунтуваннями параметрів лінійних зарядів з метою утворення вузьких і широких суцільних вертикальних щілин займалось багато вчених: В.Г. Кравець, А.Л. Ган, В.В. Вапнічна, Ю.В. Шабельська, К.П. Станюкович, Ю.Г. Карасев та багато інших [1, 2, 3]. Разом з тим, надзвичайно мало досліджень присвячено обґрунтуванню технологічних параметрів лінійних зарядів, призначених для утворення суцільної вертикальної щілини в піщаних ґрунтах.

Задачі досліджень. Дати аналітичне розв'язання та здійснити числову оцінку утворення вертикальної щілини в піщаних ґрунтах для закладання елементів штучної споруди типу "стіна в ґрунті" на основі застосування комбінованого вибухового методу.

Викладення основного матеріалу. Проведений авторами в статті [1] аналіз вибухового утворення циліндричної порожнини в піщаних ґрунтах показав, що її розширення зумовлене дією ударного імпульсу вибухових газів, який породжується двома термодинамічними процесами: політропічним з показником політропи, близьким до 3, та адіабатичним з показником адіабати в межах 1,15–1,30. Основним принципом теоретичного аналізу, застосованого в [1], є порівняння ударного імпульсу від розширення газів, діючого на стінки порожнини, з динамічною реакцією середовища. Енергія ударного імпульсу в політропічному режимі, як показують розрахунки, породжує в середовищі напруги, вищі від тиску руйнування мінеральних частинок середовища. Енергія адіабатичного розширення газів витрачається на пластичні деформації ґрунту до моменту переходу ударного фронту хвилі за рівнянням пружної реакції. Формула, за якою визначається кінцевий діаметр поодинокій порожнини, має вигляд:

$$d_k = d_n \left(\frac{\rho_n}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{2n}} \left(\frac{\rho_c}{\sigma_a} \right)^{\frac{1}{2k}}, \quad (1)$$

де d_k – кінцевий діаметр розширення порожнини після вибуху заряду; d_n – початковий діаметр шпура (свердловини), з якого починається розширення порожнини; ρ_n – початковий тиск детонаційних газів в порожнині після вибуху; ρ_c – кінцевий тиск після розширення газів за політропою; σ_a – граничний тиск на зовнішньому контурі зони пластичних деформацій, після якого закінчуються пластичні деформації і починається зона пружних деформацій середовища під дією пружної хвилі в ґрунті.

Початкові параметри політропи ρ_n і ν_n визначаються з умов щільності заряджання в шпурі (свердловині), якими формується швидкість детонаційних хвиль [2].

Відношення $\frac{\rho_n}{\rho_c}$ може бути подано такою залежністю:

$$\left(\frac{\rho_n}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{\rho_n \nu_n}{\rho_c \nu_c} \right)^{\frac{1}{n-1}} = \left(\frac{D^2}{(n+1)(k-1) \left(Q - \frac{D^2}{2(n^2-1)} \right)} \right)^{\frac{1}{n-1}}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho_c v_c &= (\kappa - 1) \left(Q - \frac{D^2}{2(n^2 - 1)} \right); \\ \rho_n v_n &= \frac{D^2}{n + 1}, \end{aligned} \tag{3}$$

де D – швидкість хвилі детонаційних газів в каверні; Q – питома теплота вибуху.

Як показують розрахунки параметрів вибуху в піщаних ґрунтах, ρ_c є величиною близько 150 МПа, що дорівнює граничному стиску при закінченні руйнування мінеральних частинок піску. При напругах, нижчих цієї величини, енергія вибуху витрачається на динаміку руху ґрунту і пластичні деформації.

Із умови політропічного стиску $\rho_c v_c^n = \rho_n v_n^n$ і залежностей (2) і (3) при заданих величинах ρ_c і v_n можна скласти рівняння для визначення величини $\chi^2 = \frac{D^2}{n + 1}$ в залежності від параметрів, які прийнято постійними: G , n , Q , κ .

Для політропічного розширення газів маємо:

$$v_c = v_n \left(\frac{\rho_n}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{n}} = v_n \left(\frac{\chi^2}{\left(Q - \frac{\chi^2}{2(n-1)} \right) (\kappa - 1)} \right)^{\frac{1}{n-1}}. \tag{4}$$

Підставляючи в (4) $v_c = \frac{1}{\rho_c} \left(Q - \frac{\chi^2}{2(n-1)} \right) (\kappa - 1)$, отримуємо рівняння третього порядку для визначення χ^2 :

$$\sigma_s^2 v_n^2 \chi^2 = \left(Q - \frac{\chi^2}{2(n-1)} \right)^3 (\kappa - 1)^3. \tag{5}$$

Для числової оцінки покладено $Q = 1000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} = 4,18 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; $n = 3$, $\kappa = 1,25$, $\rho_c = \sigma_s = 150 \text{ МПа}$, $v_n = \frac{\pi d_n^2 M^3}{4G \text{ кг}}$, $G = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$, при початковому діаметрі зарядної камери (діаметрі шпура) $d_n = 0,04 \text{ м}$.

Розв'язання рівняння (5) відносно χ^2 при вибраних числових значеннях дає значення $\chi = 2,7 \cdot 10^3 \text{ м/с}$, а швидкість детонаційної хвилі – $5,4 \cdot 10^3 \text{ м/с}$.

Якщо вибух виконується в свердловині, заповненій тільки повітрям при її діаметрі 0,08 м, то швидкість детонаційної хвилі буде дорівнювати $2,8 \cdot 10^3 \text{ м/с}$, а початковий тиск 117 МПа при кінцевому діаметрі порожнини 0,765 м. Якщо ж свердловина буде заповнена рідиною (або суспензією з кольматуючим та в'язучим матеріалом), то зміна діаметра свердловини не змінює об'єм детонаційних газів і швидкість детонаційної хвилі. Напруження на контурі свердловини змінюються тільки за рахунок зміни діаметра свердловини. Так, при збільшенні діаметра свердловини до 0,08 м початковий тиск буде мати величину:

$$\rho_n = \frac{D^2}{n + 1} \cdot \frac{4G}{\pi d_n^2} = \frac{25 \cdot 10^6}{4} \cdot \frac{4 \cdot 1,2}{\pi \cdot 8^2 \cdot 10^{-4}} = 1490 \text{ МПа}.$$

Отримане значення напруги на контурі свердловини на порядок вище напруги, яка утворюється на стінках свердловини, заповненої тільки повітрям при атмосферному тиску.

Якщо за мету поставлено утворення порожнини по лінії пробурених свердловин, то розширення порожнин із умови роботи заряду тільки в одному напрямку без радіального деформування буде проходити з меншими витратами енергії. Для такого роду розширення необхідно з самого початку провести пробій між свердловинами.

Розглянемо фрагментарно динаміку утворення суцільної порожнини між пробуреними свердловинами, в яких розміщені заряди. Як показує аналіз розширення зарядних камер циліндричної форми, до моменту з'єднання порожнин такий механізм утворення суцільної порожнини-щілини потребує близького розташування свердловин, приводить до нерівномірності ширини порожнини. При цьому відбуваються великі втрати енергії для утворення порожнини. Щоб зменшити енерговитрати на радіальне розширення циліндричних порожнин, необхідно перевести в певній мірі роботу вибуху на

прострілювання між свердловинами. Технологічним розташуванням цієї задачі може бути використання вибуху подвоєних повздовжніх зарядів з боковим розташуванням ініціюючого заряду (рис. 1, б) або кумулятивних зарядів невисокої концентрації кумулятивного струменя [3] (рис. 1, а).

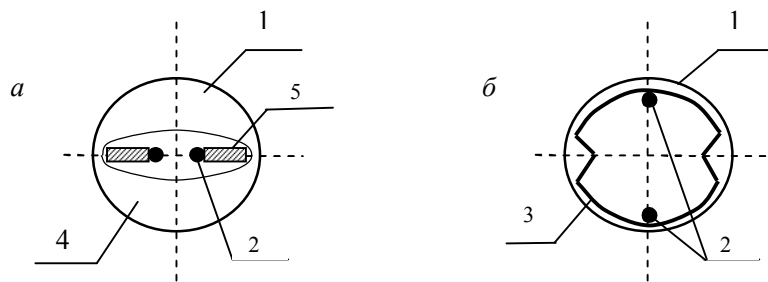


Рис. 1. Конструкція заряду направленої дії:

- а – повздовжній заряд з боковим розташуванням ініціюючого заряду [3];
- б – кумулятивний заряд невисокої концентрації кумулятивного струму;
- 1 – свердловина; 2 – детонуючий шнур; 3 – пінополістирольна оболонка;
- 4 – суспензія з кольматуючим та в'язучим матеріалом; 5 – вибухова речовина

При утворенні пробою між свердловинами, які знаходяться на відстані l_1 , виникає дія зустрічних струменів в ударному режимі і відбувається розширення отвору від місця зустрічі хвиль у зворотному напрямку. Тиск в порожнині, який утворюється після бічного удару при наявності рідини, визначається формулою:

$$p_{2H} = \frac{D^2}{n+1} \cdot \frac{G}{\xi d_{2H} l_1}, \tag{6}$$

де ξ – коефіцієнт нерівномірності ширини порожнини за рахунок звуження в місцях утворення отвору між свердловинами; d_{2H} – ширина порожнини по центру свердловини. В момент пробою отвору можна прийняти $\xi = 0,8$.

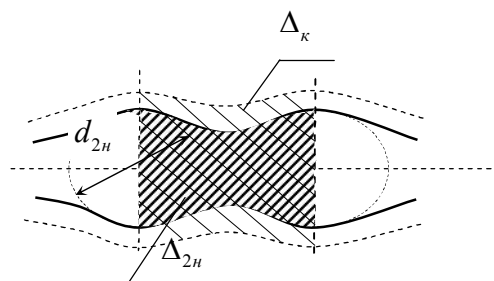


Рис. 2. Схема утворення порожнини під дією адіабатичного розширення газів

При утворенні пробою, як показано на рис. 2., приймається, що подальший розвиток порожнини проходить під дією адіабатичного розширення газів за формулою:

$$\Delta_k = \Delta_{2H} \left(\frac{p_{2H}}{p_c} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot \left(\frac{p_c}{p_k} \right)^{\frac{1}{\kappa}}, \tag{7}$$

де Δ_k – площа порожнини між центрами двох свердловин при наявності рідини.

Проведемо розрахунок ширини порожнини при $\xi = 0,8$, $d_{2H} = 0,08$ м, $l_1 = 2d_{2H} = 0,16$ м, $n = 3$, $\kappa = 1,3$, $D = 2,8 \cdot 10^3$ м/с.

$$p_{2H} = \frac{2,8^2 \cdot 10^6}{4} \cdot \frac{1,2}{0,8 \cdot 0,08^2 \cdot 2} = 229 \text{ МПа};$$

$$\frac{p_{2H}}{p_c} = \frac{229}{150} = 1,53;$$

$$\Delta_{2H} = \xi \cdot 2 \cdot 0,08^2 = 1,6 \cdot 64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\Delta_k = 1,6 \cdot 64 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{229}{150}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{150}{0,6}\right)^{\frac{1}{1,3}} = 0,84 \text{ м}^2.$$

Висновок. З наведеного теоретичного аналізу і проведених розрахунків слідує:

- 1) якщо свердловина заповнена в центрі вибуховою речовиною необхідної щільності, а залишковий простір – водою або водою з дисперсними домішками, то тиск, переданий на стінки свердловини, буде в декілька разів перевищувати тиск газів у випадку, якщо б свердловина була б заповнена повітрям при атмосферному тискові;
- 2) доцільно для зменшення енерговитрат на утворення щілини замість методу вибурювання з перекриванням свердловин застосовувати вибуховий спосіб, оснований на боковому пробиванні з розширенням порожнин;
- 3) розширення порожнини в найбільшій мірі повинно проходити після пробою між свердловинами, з утворенням суцільної щілини на весь ряд свердловин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Обґрунтування параметрів вибуху при утворенні підземних сховищ токсичних відходів та протифільтраційних споруд / В.Г. Кравець, В.В. Вапнічна, А.Л. Ган, Ю.В. Шабельська // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць. – К.: ННДІОП, 2003. – Вип. 7. – С. 105–115.
2. Станюкович К.П. Неустановившиєся движения сплошной среды. – М., 1971.
3. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – С.-Пб.: Изд-во Санкт-Петерб. горного ун-та, 1997.

БАККА Микола Терентійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- обробка каменю;
- екологія.

ЖМУДЕНКО Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:

- вибухові роботи;
- геобудівництво.

ШАЙДЕЦЬКА Любов Валентинівна – аспірант кафедри геобудівництва та гірничих технологій Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:

- геобудівництво.

Подано 19.06. 2006