

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХІВ СФЕРИЧНИХ І СКІНЧЕНОЇ ДОВЖИНИ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАРЯДІВ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ ВІДКРИТИХ ВІЙМОК У ШАРУВАТИХ ГРУНТАХ

І.А. Лучко, докт. техн. наук (ЗАТ "Техновибух")

С использованием теории подобия и размерности обоснована методика определения параметров взрывов сферических и конечной длины горизонтальных цилиндрических зарядов в однородных и слоистых грунтах для получения воронок и выемок.

На цей час отримано багато результатів теоретичних та експериментальних досліджень, дослідно-промислових і промислових робіт з використанням енергії вибуху зарядів хімічних вибухових речовин (ВР) для потреб гірничої справи, гідромеліоративного, сільськогосподарського, промислового і шляхового будівництва, при спорудженні спеціальних інженерних об'єктів. Розрахункові залежності, за допомогою яких можна задовільно обраховувати параметри вибухів на викидання, добре обгрунтовані для однорідних ґрунтів. Однак часто вибухи виконують у складних інженерно-геологічних умовах, зокрема в шаруватих масивах. Межею розділу шарів може бути межа між водонасиченим і неводонасиченим, мерзлим і талим, незв'язним і зв'язним, нескельним і скельним ґрунтами тощо.

Аналіз літературних джерел показав, що відомі теоретичні та експериментальні дослідження висвітлюють лише окремі сторони цього дуже складного процесу. Так, у праці [1] досліджується вплив шаруватості ґрунтового масиву на параметри воронки викиду в модельних дослідах. Розглядаються три випадки взаємного розміщення шарів:

- 1) шар сухого пилюватого піску на бетонній плиті;
- 2) паперова перепона всередині півпростору з сухого пилюватого піску;
- 3) поліетиленова плівка між верхнім шаром сухого піску і півпростором

із водонасиченого піску.

Отримані результати свідчать про те, що в першому випадку параметри воронки викиду менші порівняно з вибухом в однорідному піску. Несиметричність розвитку порожнини вибуху поблизу перепони виявлено в працях [2–4]. При розміщенні в ґрунті тонкої паперової перепони спостерігалось збільшення площі перерізу воронки викиду [5, 6]. Відомі також праці про вплив шаруватості на форму виїмки [7], але вони виконані без детального вивчення впливу товщини шару, фізико-механічних властивостей ґрунтів і параметрів зарядів на процес викидання. При маломасштабному моделюванні процесу утворення воронки у шарі незв'язного піску,

розміщеному на зв'язному півпросторі [8], виявлено, що форма воронки при контактних вибухах сферичних зарядів ВР суттєво залежить від товщини поверхневого шару; при цьому утворюються нормальні, з центральною гіркою, плоскодонні та концентричні воронки з руйнуванням підстеляючого шару. При експериментальному дослідженні впливу шаруватості сезонномерзлого чорнозему на параметри виїмки та питому витрату ВР встановлено [9], що при однакових параметрах зарядів параметри виїмки в сезонномерзломому ґрунті завжди менші, ніж у талому. Особливо різке їх зменшення спостерігається при розміщенні заряду на межі промерзання та поблизу над нею. При однакових масі і глибині закладання заряду в талому ґрунті забезпечуються більші показники дії вибуху. Аналогічні якісні результати отримано при проведенні маломасштабних експериментальних досліджень дії вибуху на викидання в сезонномерзлих суглинках [10] та мерзлих торфових ґрунтах [11].

З порівняння результатів досліджень багатьох авторів випливає, що якісні результати дії вибуху в шаруватих ґрунтах узгоджуються між собою, а кількісні оцінки впливу шаруватості суперечливі, що, безсумнівно, пов'язано з певною довільністю при виборі емпіричних коефіцієнтів, використовуваних в числових розрахунках. З цього випливає необхідність проведення додаткових досліджень з використанням нових методичних підходів до вивчення таких процесів.

Одним з ефективних методів експериментального дослідження дії вибуху в нескельних і скельних ґрунтах, у тому числі й шаруватих, є моделювання [12–18]. Для правильного використання цього методу необхідно чітко сформулювати певні співвідношення між параметрами моделі і природної системи, які називаються співвідношеннями (критеріями) подібності. При правильному підборі критеріїв подібності можна з достатньою точністю користуватись результатами модельних досліджень при обґрунтуванні параметрів промислових вибухів.

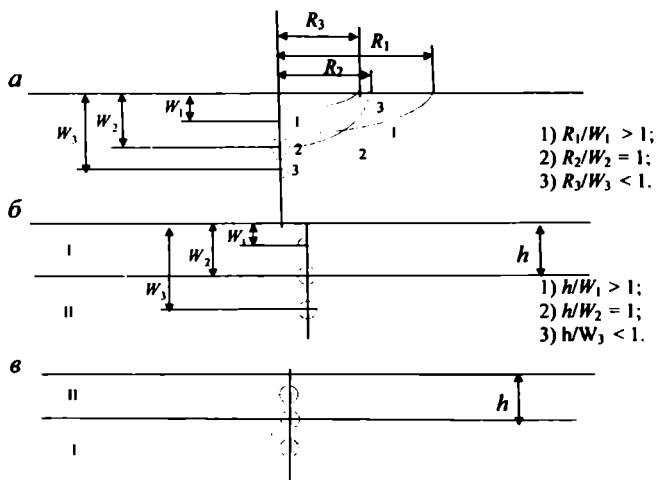
Нехай потрібно отримати кореляційні залежності між параметрами ґрунту, ВР і воронки (виїмки), утворених вибухами сферичних і скінченної довжини горизонтальних циліндричних зарядів у двошарових масивах. Ґрунт шару значно відрізняється міцністю від ґрунту півпростору. Один із шарів ґрунтів приймається слабозв'язним. Схеми розміщення зарядів у однорідних і шаруватих ґрунтах наведено на рисунку.

Незалежними змінними є: E – повна енергія сферичного заряду; E_l – повна енергія вибуху циліндричного заряду одиничної довжини; l – довжина циліндричного заряду; W – глибина закладання заряду; h – потужність (товщина) шару; ρ_0, ρ_1 – щільність слабозв'язного і міцного ґрунтів; V_a, V'_a – вміст повітря в одиниці маси слабозв'язного і міцного ґрунтів; τ – міцність ґрунту на зсув; P_0 – атмосферний тиск; g – прискорення вільного падіння. Оскільки за малого масштабу моделі процеси проникнення продуктів детонації (ПД) у пори ґрунту, тепло- і масообмін між ПД і середовищем суттєво впливають на результати вибуху, то необхідно враховувати вільну пористість ґрунтів у вигляді розмірної величини – об'єму повітря на одиницю маси

слабозв'язного V_a і міцного V_a' ґрунтів. Таким чином побічно враховується і вологість ґрунту, оскільки V_a визначається за формулою

$$V_a = \frac{\alpha_1}{\rho_0} = \frac{1}{\rho_0} - \frac{\rho_s W_g + \rho_w}{\rho_w \rho_s (1 + W_g)}, \quad (1)$$

де α_1 – вільна пористість ґрунту; ρ_s – щільність твердого компонента ґрунту; W_g – вологість ґрунту; ρ_w – щільність (густина) води.



Схеми розміщення зарядів у однорідному (а) і шаруватих (б, в) ґрунтах:
I, II – відповідно міцний і слабозв'язний ґрунт

Залежними (шуканими) параметрами є: R – радіус воронки (виймки) викиду на рівні початкового положення денної поверхні; H, S, V, L – відповідно глибина, площа вертикального перерізу, об'єм воронки (виймки) викиду; L – довжина виймки.

У загальному вигляді можна прийняти, що для цієї задачі існує деяка функціональна залежність

$$F(\varepsilon, W, \rho_0, \rho_1, \dots) = 0. \quad (2)$$

Оскільки в нашому випадку є 10 незалежних змінних (для сферичного заряду), 11 незалежних змінних (для циліндричного заряду) і 3 основні розмірності, то згідно з відомою π -теоремою існує 7 (для сферичного заряду) і 8 (для циліндричного заряду) безрозмірних комбінацій π_i , для яких

$$F_1(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_7) = 0, \quad F_2(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_8) = 0. \quad (3)$$

Використовуючи параметри E, g, W (для сферичного заряду) і E_l, g, W (для циліндричного заряду) як величини з незалежними розмірностями, за допомогою формального апарату теорії розмірностей отримаємо співвідношення подібності:

для сферичних зарядів

$$\begin{aligned} \pi'_1 &= \frac{E}{\rho_0 g W^4}, \quad \pi'_2 = \frac{E}{P_0 W^3}, \quad \pi'_3 = \frac{E V_\alpha}{g W^4}, \\ \pi'_4 &= \frac{E}{\rho_1 g W^4}, \quad \pi'_5 = \frac{E}{\tau W^3}, \quad \pi'_6 = \frac{E V'_\alpha}{g W^4}, \quad \pi'_7 = \frac{h}{W}; \end{aligned} \quad (4)$$

для циліндричних зарядів

$$\begin{aligned} \pi''_1 &= \frac{E_l}{\rho_0 g W^3}, \quad \pi''_2 = \frac{E_l}{P_0 W^2}, \quad \pi''_3 = \frac{E_l V_\alpha}{g W^3}, \quad \pi''_4 = \frac{E_l}{\rho_1 g W^3}, \\ \pi''_5 &= \frac{E_l}{\tau W^3}, \quad \pi''_6 = \frac{E_l V'_\alpha}{g W^3}, \quad \pi''_7 = \frac{l}{W}, \quad \pi''_8 = \frac{h}{W}. \end{aligned} \quad (5)$$

Тепер шукані функціональні залежності в загальному випадку мають вигляд:

для сферичних зарядів

$$\frac{R}{W}, \frac{H}{W}, \frac{S}{W^2}, \frac{V}{W^3} = f_i(\pi'_1, \pi'_2, \dots, \pi'_7), \quad (6)$$

для циліндричних зарядів

$$\frac{R}{W}, \frac{H}{W}, \frac{L}{W}, \frac{S}{W^2}, \frac{V}{W^3} = f_j(\pi''_1, \pi''_2, \dots, \pi''_8). \quad (7)$$

Аналіз виразів (4)–(7) показує, що встановити вплив кожного окремо взятого безрозмірного комплексу на результати вибуху, фіксуєючи величини інших комплексів, неможливо без значних змін у моделі величин $P_0, g, \rho_0, \rho_1, \tau$. Для зміни величини цих параметрів повинні застосовуватися вакуумні установки і відцентрові машини, а природні ґрунти – замінятися спеціально підготовленими матеріалами-еквівалентами. Все це значно ускладнює постановку експериментів. Тому зменшимо кількість простих безрозмірних комплексів шляхом їх об'єднання у більш складні. Об'єднаємо три перші комплекси в правих частинах виразів (6) і (7) в один у кожному з виразів на основі строго доведеного степеневому закону подібності для вибухів в однорідних ґрунтах [19] і експериментально отриманої величини показника

степеня в законі подібності, яка коливається між 3 і 4 для сферичних зарядів та 2 і 3 для циліндричних зарядів [20, 21]. Врахуємо також, що $V_a = \alpha_1 / \rho_0$, $V'_a = \alpha'_1 / \rho_1$.

Тоді для сферичних зарядів

$$\pi_{1c} = (\pi_1 \pi_2 \pi_3)^{1/3} = EW^{-11/3} \alpha_1^{1/3} (\rho_0 g)^{-2/3} P_0^{-1/3}, \quad (8)$$

для циліндричних зарядів

$$\pi_{1u} = (\pi_1 \pi_2 \pi_3)^{1/3} = E_l W^{-8/3} \alpha_1^{1/3} (\rho_0 g)^{-2/3} P_0^{-1/3}. \quad (9)$$

Аналогічно в один складний комплекс об'єднаємо і групи параметрів π'_4, π'_5, π'_6 та $\pi''_4, \pi''_5, \pi''_6$:

$$\pi_{2c} = (\pi'_4 \pi'_5 \pi'_6)^{1/3} = EW^{-11/3} \alpha_1^{1/3} (\rho_1 g)^{-2/3} \tau^{-1/3}, \quad (10)$$

$$\pi_{2u} = (\pi''_4 \pi''_5 \pi''_6)^{1/3} = E_l W^{-8/3} \alpha_1^{1/3} (\rho_1 g)^{-2/3} \tau^{-1/3}. \quad (11)$$

Тоді шукані функціональні залежності мають такий вигляд: для сферичних зарядів

$$\frac{R}{W} \cdot \frac{H}{W} \cdot \frac{S}{W^2} \cdot \frac{V}{W^3} = f_i(\pi_{1c}, \pi_{2c}, \pi_{3c}); \quad (12)$$

для циліндричних зарядів

$$\frac{R}{W} \cdot \frac{H}{W} \cdot \frac{L}{W} \cdot \frac{S}{W^2} \cdot \frac{V}{W^3} = f_j(\pi_{1u}, \pi_{2u}, \pi_{3u}, \pi_{4u}), \quad (13)$$

де $\pi_{3u} = \pi_7$, $\pi_{2u} = \pi_7$, $\pi_{4u} = \pi_8$.

Якщо за базу, порівняно з якою зі зміною умов підірвання ($l \neq W$ для циліндричних зарядів, уведення умови шаруватості тощо) будуть збільшуватися або зменшуватися розміри воронки викиду, прийняти вибух сферичного і горизонтального циліндричного зарядів (при $l = W$) в однорідному слабозв'язному ґрунті, то функціональні залежності (6), (7) для вибухів в однорідних ґрунтах логічно шукати у вигляді

$$\frac{R}{W} \cdot \frac{H}{W} \cdot \frac{S}{W^2} \cdot \frac{V}{W^3} = f_i(\pi_{1c}); \quad (14)$$

$$\frac{R}{W} \cdot \frac{H}{W} \cdot \frac{L}{W} \cdot \frac{S}{W^2} \cdot \frac{V}{W^3} = f_j(\pi_{1u}) f_j(\pi_{2u}), \quad (15)$$

а для вибухів у двошарових ґрунтах відповідно у вигляді

$$\frac{R}{W'} \cdot \frac{H}{W'} \cdot \frac{S}{W'^2} \cdot \frac{V}{W'^3} = f_i(\pi_{1c}) f_i(\pi_{2c}) f_i(\pi_{3c}), \quad (16)$$

$$\frac{R}{W'} \cdot \frac{H}{W'} \cdot \frac{L}{W'} \cdot \frac{S}{W'^2} \cdot \frac{V}{W'^3} = f_j(\pi_{1u}) f_j(\pi_{2u}) f_j(\pi_{3u}) f_j(\pi_{4u}), \quad (17)$$

де f_i, f_j – поправочні коефіцієнти на умови підривання, що являють собою невідомі безрозмірні функції свого безрозмірного аргумента і підлягають поетапному визначенню експериментальним шляхом.

Таким чином, з допомогою аналізу розмірностей вдалося спростити задачу і виразити її у вигляді безрозмірних змінних. Застосування аналізу розмірностей дало змогу:

скоротити до мінімуму число змінних;

за допомогою нових змінних проводити експерименти більш економічно і ефективно;

отримати загальні співвідношення на основі безрозмірних змінних, не обмежені якими-небудь окремими системами одиниць вимірювання.

У наступних публікаціях автор наведе результати обробки власних і відомих експериментальних досліджень у вигляді конкретних виразів безрозмірних функцій досліджуваних моделей, конкретні формули для визначення маси одиночних і розміщених в ряд сферичних зарядів і скінченної довжини горизонтальних циліндричних зарядів в одно- і двошарових ґрунтових масивах, а також послідовність розв'язування практичних задач у можливих постановках.

1. Кузнецов В.М., Труфанов Н.А. О некоторых особенностях взрывов на выброс в слоистых грунтах // Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. ископаемых. – 1982. – № 8. – С. 114–116.

2. И.А. Лучко, В.А. Цурик, В.А. Плакий и др. Параметры волн и выемок выброса при взрывах линейно-протяженных зарядов в двухслойном песке с водонасыщенным нижним слоем // АН УССР. Ин-т геофизики им. С.И. Субботина. – М., 1983. – 14 с. – Деп. в ВИНТИ 13.01.83 г., № 238-83.

3. Труфанов Н.А. Особенности взрывов на выброс двухрядных и загагообразных горизонтальных зарядов в слоистых грунтах // Взрыв. дело. – 1986. – № 88/45. – С. 116–119.

4. Киньколых Н.Ф. Непостоянство сечения камуфлетных полостей при взрывах в двухслойном массиве // Взрывные работы в грунтах и горных породах. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 82–90.

5. Кузнецов В.М., Шацкевич А.Ф., Романов А.Р. О взрыве на выброс в песке // Физика горения и взрыва. – 1979. – № 2. – С. 146–152.

6. Кузнецов В.М., Шацкевич А.Ф. О некоторых особенностях взрыва в пористых сыпучих средах // Физика горения и взрыва. – 1979. – № 4. – С. 126–131.
7. Андреев Ю.П., Казанцев С.П., Цурик В.А. Особенности получения заданных параметров выемки направленным инициированием зарядов выброса // Использование взрыва при разработке нескальных грунтов. – Киев: Наук. думка, 1978. – С. 123–126.
8. Белинский И.В., Пасечник В.Л. Взрыв в слоистой среде // Взрыв. дело. – 1986. – № 88/45. – С. 119–123.
9. Поплавский В.А., Постнов В.В., Фраш Г.Б. Сравнение технологических параметров выемок и зарядов при взрывании талых и сезонномерзлых грунтов // Взрывные работы в грунтах и горных породах. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 78–82.
10. Фраш Г.Б., Джумаев В.М. Строительство каналов сечением до 40 м² в зимнее время // Взрывные работы в грунтах и горных породах. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 117–121.
11. Фраш Г.Б. Технология строительства каналов в торфяных грунтах взрывным способом // Взрывные работы в грунтах и скальных породах. – Киев: Наук. думка, 1986. – С. 54–61.
12. Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н. и др. Механический эффект подземного взрыва – М.: Недра, 1971. – 221 с.
13. И.А. Лучко, В.А. Плаксий, Н.С. Ремез и др. Механический эффект взрыва в грунтах / Под ред. И.А. Лучко. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.
14. Боровиков В.А., Ванягин И.Ф. Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород. – М.: Недра, 1990. – 231 с.
15. Докучаев М.М., Родионов В.Н., Ромашов А.Н. Взрыв на выброс. М.: Недра, 1963. – 108 с.
16. Замесов Н.В. Применение теории подобия и размерности при моделировании процесса дробления горных пород. – М.: Изд-во АН СССР. – С. 101–111.
17. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. – М.: Недра, 1978. – 256 с.
18. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1987. – 432 с.
19. Вахрамеев Ю.С. Некоторые соотношения подобия для движения сыпучей уплотняющейся среды // Прикл. математика и механика. – 1970. – 34. – № 5. – С. 930–934.
20. Вовк О.О., Лучко І.А. Про принцип подібності при вибухах циліндричних горизонтальних зарядів викидання // Доп. АН УРСР. Сер. А. – 1970. – № 11. – С. 1038–1041.
21. Бондарь П.П., Бойван В.С., Водяник А.Е. и др. Экспериментальное исследование взрыва на выброс в двухслойном грунтовом массиве // Теория и практика совершенствования взрывных работ. – Киев: Наук. думка. – 1990. – С. 44–50.