

2. *Баклашов И. В., Картозия Б. А.* Механические процессы в породных массивах: Учебник для ВУЗов. – М.: Недра, 1986. – 272 с.

3. *Гудман Р.* Механика скальных пород / Пер. с англ. Ю. Б. Мгалобелова и Р. Р. Тиздела; Под ред. С. Б. Ухова. – М.: Стройиздат, 1987. – 232 с.

4. *Баклашов И. В.* Деформирование и разрушение породных массивов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.

5. *Глушко В. Т., Виноградов В. В.* Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. М.: Наука, 1981.

6. *Петухов И. М., Линьков А. М.* Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983.

УДК 622.235.5

РЕЗУЛЬТАТИ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ВИБУХУ НА ВИКИД СФЕРИЧНИХ ЗАРЯДІВ У ШАРУВАТИХ ГРУНТАХ

І. А. Лучко, докт. техн. наук, А. І. Лучко, студ. (НТУУ "КПІ")

Получены корреляционные зависимости размеров воронок выброса от определяющих параметров взрыва сферических зарядов взрывчатых веществ в двухслойных грунтах на основе обработки результатов экспериментов с использованием теории подобия и размерности.

З використанням теорії подібності та розмірності отримано [1], що розміри воронки викиду і параметри вибухів сферичних зарядів вибухових речовин (ВР) у двошарових грунтах задовольняють співвідношенням

$$\frac{R}{W}, \frac{H}{W}, \frac{S}{W^2}, \frac{V}{W^3} = f_1(\Pi_{1c}) \cdot f_2(\Pi_{2c}) \cdot f_3(\Pi_{3c}), \quad (1)$$

де R – радіус; H – видима глибина; S – площа поперечного перерізу; V – об'єм воронки викиду; W – глибина закладання заряду; f_i – безрозмірні функції своїх безрозмірних аргументів, визначаються з експериментальних досліджень; $i \rightarrow R, H, S, V$;

$$\Pi_{1c} = \epsilon W^{-\frac{11}{3}} \alpha_1^{\frac{1}{3}} (\rho_0 g)^{\frac{2}{3}} \rho_0^{-\frac{1}{3}}; \quad (2)$$

$$\Pi_{2c} = \epsilon W^{-\frac{11}{3}} \alpha_1^{\frac{1}{3}} (\rho_1 g)^{\frac{2}{3}} \tau^{-\frac{1}{3}}; \quad (3)$$

$$\Pi_{3c} = \frac{h}{W}; \quad (4)$$

ϵ – повна енергія ВР; α_1 і ρ_1 – відповідно вільна пористість і міцність ґрунтів слабозв’язаного та міцного шарів; g – прискорення вільного падіння; ρ_0 – атмосферний тиск; τ – міцність ґрунту на зсув; h – товщина шару, який може бути міцним і лежати на слабкому півпросторі та слабким, що лежить на міцному півпросторі.

Доведено [2], що вирази $f_i(\Pi_{1c})$ можна записати у вигляді степеневих функцій, для яких отримані коефіцієнти та показники степені на основі математичної обробки результатів експериментальних досліджень.

Для визначення функцій $f_i(\Pi_{2c})$, $f_i(\Pi_{3c})$ проведені досліді на моделях двох варіантів:

1) ґрунт шару має суттєву міцність на зсув, а ґрунт півпростору ϵ слабозв’язаним;

2) ґрунт шару ϵ слабозв’язаним, а ґрунт півпростору має суттєву міцність на зсув.

У дослідях на моделях за першим варіантом [3] використовували сферичні заряди амоніту 6ЖВ з щільністю 1000 кг/м^3 і масою $0,02 \text{ кг}$. Ґрунтом півпростору був пісок масовою вологістю $4...5 \%$, однорідний (вміст фракцій розміром $0,5...0,1 \text{ мм}$ становив $79,2 \%$). Пісок укладали в котлован шарами товщиною $0,07...0,08 \text{ м}$. Кожен шар ущільнювали шляхом десятиразового кидання з висоти 1 м вантажу масою 10 кг на сталеву плиту розміром $0,35 \times 0,35 \text{ м}$. На поверхню півпростору розміщували шар із суміші глини з піском (відношення глини до піску за об’ємом становило $2:1$).

Масова вологість суміші дорівнювала $10...15 \%$. Для приготування суміші пісок у необхідному об’ємі насичували водою до стану повного водонасичення. Потім у водонасичений пісок додавали потрібну кількість сухої глини, просіяної через сито з розміром отворів 2 мм . Суміш ретельно перемішували, укладали одним суцільним шаром на поверхню піщаного півпростору і ущільнювали зазначеним вище способом. Після виготовлення моделі в її центрі бурили шпур на потрібну глибину і в шпурі розміщували сферичний заряд ВР з електродетонатором. Потім шпур заповнювали ґрунтом, вибитим при його бурінні. Після вибуху заміряли ширину і глибину воронки викиду по гребеню навалу, а також знімали її профіль, по якому визначали глибину, ширину та об’єм воронки викиду відносно початкового положення вільної поверхні. Після цього модель розрізували навпіл у вертикальній площині, що проходить через центр заряду. Із воронки викидали ґрунт, який упав назад у воронку після вибуху, фіксували зміщення шару та істинну глибину воронки. Лінійні розміри воронки викиду заміряли з точністю $\pm 5 \text{ мм}$. Щільність і вологість ґрунтів визначали термостатно-ваговим методом після виготовлення моделі. Щільність їх становила $\rho_0 = 1570...1820 \text{ кг/м}^3$ при вологості $4...5 \%$ і вільній пористості $\alpha_1 = 0,26...0,36$; $\rho_1 = 1810...2100 \text{ кг/м}^3$ при вологості $8...10 \%$ і вільній пористості $\alpha'_1 = 0,15...0,21$. Зсувна міцність ґрунту τ , яка визначалася безпосередньо в масиві при статичному зондуванні за допомогою мікропенетромтра МВ-2,

дорівнювала $\tau = (1,36 \dots 2,69) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Товщину шару h , глибину закладання W в дослідах змінювали в інтервалах $0,045 \leq h \leq 0,1 \text{ м}$, $0 \leq W \leq 0,28 \text{ м}$.

Крім результатів зазначених експериментів, для визначення залежностей (1) були використані результати експериментальних вибухів у сезонномерзлих ґрунтах і на моделях, що їх імітують [4–6]. Зокрема, згідно з даними [4] моделі розміщали у циліндричних шурфах діаметром 1,3 м і глибиною 1 м. Нижній “талій” шар моделювали піском щільністю 1877 кг/м^3 і вологістю 7 %, а верхній “мерзлий” шар товщиною $0,27 \dots 0,28 \text{ м}$ виготовляли з цементно-піщаного розчину, який після твердіння на момент вибуху мав середню міцність на стиснення $40 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, а на розрив – $10 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Застосовували одиночні сферичні заряди амоніту 6ЖВ масою 0,05 кг при глибині закладання $0,1 \dots 0,5 \text{ м}$.

Були використані також результати експериментальних маломасштабних вибухів, проведених за участю і під керівництвом автора на експериментальному полігоні СКГБ Інституту геофізики ім. С. І. Суботіна НАН України [7]. У серії дослідів для моделі першого варіанту шаром була глина порушеної структури ($\rho_1 = 1823 \dots 1901 \text{ кг/м}^3$; $\alpha'_1 = 0,162 \dots 0,165$; $\tau = 1110 \text{ кПа}$), а півпростором – щільний вологий пісок. Глибина закладання зарядів гексогену масою 0,007 кг становила 0,07 і 0,127 м, масою 0,037 кг – 0,055 м; заряду амоніту 6ЖВ масою 0,02 кг – 0,07 м. У серії дослідів для моделі другого варіанту слабозв’язаний ґрунт (зволожений пісок) розміщували на півпросторі більш міцного ґрунту (супісок непорушеної структури). Пісок мав щільність $\rho_0 = 1396 \dots 1505 \text{ кг/м}^3$, вільну пористість $\alpha_1 = 0,258 \dots 0,383$, суглинок відповідно – $\rho_1 = 1942 \dots 2187 \text{ кг/м}^3$, $\alpha'_1 = 0,0316 \dots 0,147$, $\tau = 187,59 \dots 543,9 \text{ кПа}$.

Маса кожного з зарядів гексогену складала 0,003 кг, а глибина закладання їх змінювалася від 0,03 м до 0,2 м. У дослідах обох серій заряд ВР розміщували на границі розділу шарів $W = h$. Тобто за даними цих дослідів можна було визначити тільки вигляд функцій $f_i(\Pi_{2c})$, оскільки значення параметра $\Pi_{3c} = \text{const} = 0,1$. Значення функцій $f_i(\Pi_{2c})$ визначали за формулою

$$f_i(\Pi_{2c}) = \frac{i_\phi}{f_i(\Pi_{1c})}, \quad (5)$$

де i_ϕ – відповідний безрозмірний параметр воронки викиду в двошаровому ґрунті. Функції $f_i(\Pi_{3c})$ визначали на основі даних, одержаних авторами, і відомих даних інших дослідників. У результаті математичної обробки результатів зазначених праць та власних дослідів встановлено, що кореляційні залежності функцій $f_i(\Pi_{2c})$ мають вигляд степеневих функцій, а $f_i(\Pi_{3c})$, залежно від інтервалу зміни безрозмірного аргументу, мають вигляд показникових, степеневих, лінійних і квадратичних функцій (таблиця) з коефіцієнтом кореляції, який змінюється в діапазоні $0,7 \dots 0,95$.

Математичні вирази для безрозмірних функцій, пов'язаних з розміром воронки викиду при вибухах сферичних зарядів

| Варіант моделі | Кореляційна залежність | Інтервал зміни безрозмірного аргументу | Варіант моделі | Кореляційна залежність | |
|---|---|--|----------------|--|--|
| | | | | Інтервал зміни безрозмірного аргументу | Інтервал зміни безрозмірного аргументу |
| Для радіуса воронки викиду | | | | | |
| 1 | $f_R(\Pi_{2c}) = 0,542\Pi_{2c}^{0,03}$ | $1000 \leq \Pi_{2c} \leq 5 \cdot 10^5$ | 1 | Для видимої глибини воронки викиду $f_n(\Pi_{2c}) = 0,342\Pi_{2c}^{0,0796}$ | |
| 2 | $f_R(\Pi_{3c}) = 0,409\Pi_{2c}^{0,1345}$ | $40 \leq \Pi_{2c} \leq 1480$ | 2 | $f_n(\Pi_{2c}) = 0,0245\Pi_{2c}^{0,708}$ | |
| 2 | $f_R(\Pi_{2c}) = 0,218\Pi_{2c}^{-0,015}$ | $1480 \leq \Pi_{2c} \leq 5 \cdot 10^5$ | 2 | $f_n(\Pi_{2c}) = 1,7303\Pi_{2c}^{-0,0423}$ | |
| 1 | $f_R(\Pi_{3c}) = 0,2466e^{1,4\Pi_{3c}}$ | $1,0 \leq \Pi_{3c} \leq 1,25$ | 1 | $f_n(\Pi_{3c}) = 0,307\Pi_{3c}^2 + 1,478\Pi_{3c}^2 - 0,171$ | |
| 1 | $f_R(\Pi_{2c}) = 1,489\Pi_{3c}^{-0,2611}$ | $1,25 \leq \Pi_{3c} \leq 3,3$ | 1 | $f_n(\Pi_{3c}) = 2,05 - 1,05\Pi_{3c}$ | |
| 1 | $f_R(\Pi_{3c}) = 1,3159e^{2c-0,2654\Pi_{3c}}$ | $0,19 \leq \Pi_{3c} \leq 1,0$ | 2 | $f_n(\Pi_{3c}) = 1,072 - 0,072\Pi_{3c}$ | |
| 2 | $f_R(\Pi_{3c}) = 0,828 + 0,166\Pi_{3c}$ | $0,315 \leq \Pi_{3c} \leq 1,0$ | 2 | $f_n(\Pi_{3c}) = 0,779 + 0,01\Pi_{3c}$ | |
| 2 | $f_R(\Pi_{3c}) = 0,868 + 0,04\Pi_{3c}$ | $0,06 \leq \Pi_{3c} \leq 0,315$ | 2 | $f_n(\Pi_{3c}) = \Pi_{3c}^{0,625}$ | |
| 2 | $\lg f_R(\Pi_{3c}) = 0,4208(\Pi_{3c} - 1)^{0,028} \exp[-1,155(\Pi_{3c} - 1)]$ | $1,0 \leq \Pi_{3c} \leq 7,0$ | | | |
| Для площі вертикального перерізу воронки викиду | | | | | |
| 1 | $f_S(\Pi_{2c}) = 0,3177\Pi_{2c}^{0,059}$ | $1000 \leq \Pi_{2c} \leq 5 \cdot 10^5$ | | | |
| 2 | $f_S(\Pi_{2c}) = 0,4734\Pi_{2c}^{0,1406}$ | $40 \leq \Pi_{2c} \leq 3433,4$ | | | |
| 1 | $f_S(\Pi_{3c}) = 0,7488 + 0,2523\Pi_{3c}$ | $1,0 \leq \Pi_{3c} \leq 3,3$ | | | |
| 1 | $f_S(\Pi_{3c}) = 1,7946 - 0,7346\Pi_{3c}$ | $0,16 \leq \Pi_{3c} \leq 1,0$ | | | |
| 2 | $f_S(\Pi_{3c}) = 0,506 + 0,04\Pi_{3c}$ | $1,6 \leq \Pi_{3c} \leq 7,15$ | | | |
| 2 | $f_S(\Pi_{3c}) = 1,55 - 0,55\Pi_{3c}$ | $1,0 \leq \Pi_{3c} \leq 1,6$ | | | |
| 2 | $f_S(\Pi_{3c}) = 0,77\Pi_{3c} + 0,24$ | $0,07 \leq \Pi_{3c} \leq 1,0$ | | | |

Отже, отримані кореляційні залежності в зазначених діапазонах зміни безрозмірного аргументу можна використовувати для розв'язування прямої та оберненої задач дії вибуху на викид одиночних сферичних зарядів у шаруватих ґрунтах.

1. *Лучко І. А.* Методика визначення параметрів вибухів сферичних і скінченної довжини горизонтальних циліндричних зарядів при проходженні відкритих виїмок у шаруватих ґрунтах // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ “КПІ”: ЗАТ “Техновибух”, 1999. – Вип. 2. – С. 29–35.

2. *Лучко І. А.* Результати моделювання дії вибуху на викид сферичних зарядів в однорідних слабозв'язаних ґрунтах // Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія “Гірництво”: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ “КПІ”: ЗАТ “Техновибух”, 2000. – Вип. 3. – С. 14–16.

3. *Лучко І. А., Плаксий В. А., Ремез Н. С. и др.* Механический эффект взрыва в грунтах / Под ред. И. А. Лучко. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.

4. *Поплавский В. А., Постнов В. В., Фраш Г. Б.* Сравнение технологических параметров выемок и зарядов при взрывании талых сезонномерзлых грунтов // Взрывные работы в грунтах и горных породах. – Киев: Наук. думка, 1984. – С. 78–82.

5. *Фраш Г. Б., Постнов В. В., Тесленко В. В.* Влияние глубин промерзания на параметры взрывных работ в сезонномерзлых грунтах // Взрывное дело. – 1986. – № 88/45. – С. 55–59.

6. *Фраш Г. Б.* Взрывные работы в сезонномерзлых грунтах. – М.: Недра, 1990. – 112 с.

7. *Бондарь П. П., Бойван В. С., Водяник А. Е. и др.* Экспериментальное исследование взрыва на выброс в двухслойном грунтовом массиве // Теор. и практ. соверш. взрывных работ. – Киев: Наук. думка. – 1990. – С. 44–50.

УДК622.235:519.25/27

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ КУСКОВ В РАЗВАЛЕ ГОРНОЙ МАССЫ

*Р. С. Крысин, докт. техн. наук (НГА Украины),
В. В. Новинский, инж. (ЗАО «Турстрой-Украина»)*

Запропоновано та обґрунтовано імовірнісний метод опису гранулометричного складу гірничої маси, що утвориться за рахунок реалізації под дією напружень випадкових структурних дефектів, нестационарним пуассоновським розподілом.

Поскольку величина куска, образующегося при разрушении взрывом скальных массивов, является случайной величиной, то при прогнозировании