

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХІВ ЗАРЯДІВ ВИКИДУ В ОДНОРІДНИХ ҐРУНТОВИХ МАСИВАХ

*І. А. Лучко, докт. техн. наук (НТУУ «КПІ»), А. І. Лучко, інж.
(ПІ «Укрспецтунельпроект»)*

Освещены особенности расчета массы и глубины заложения взрывчатого вещества для образования воронки (или выемки) с заранее заданными двумя (тремя) их размерами или при каком-либо заданном размере воронки (или выемки) так, чтобы расход взрывчатки на один кубический метр воронки (или выемки) был минимальным.

Раніше [1] з використанням теорії подібності та розмірності в загальному вигляді була розроблена методика визначення параметрів вибухів на викид сферичних і скінченної довжини горизонтальних циліндричних зарядів вибухових речовин (ВР) в однорідних і шаруватих ґрунтах. Потім ця методика була конкретизована до вибухів сферичних зарядів у слабоз'язаних однорідних [2] і двошарових [3] ґрунтах, до вибухів скінченної довжини горизонтальних циліндричних в однорідних [4] і двошарових [5] ґрунтах. У праці [6] висвітлені особливості розрахунку маси заряду при заданих глибині його закладання та якогось із розмірів воронки (для сферичного заряду) чи виїмки (для горизонтального циліндричного заряду) (задача 1). Розглянемо питання про визначення маси і глибини закладання заряду ВР для утворення під час вибуху воронки чи виїмки з наперед точно заданими двома чи трьома розмірами (задача 2) і про визначення маси заряду та глибини його закладання при заданому якомусь розмірі воронки (виїмки) так, щоб витрата ВР на один кубічний метр воронки (виїмки) була мінімальна (задача 3).

Послідовність розрахунків при розв'язанні задачі 2.

При заданих яких-небудь двох розмірах x_1 і x_2 воронки (виїмки) (наприклад, радіуса поверху R і глибини H , радіуса поверху R і площі поперечного перерізу S і т. д.) визначається глибина закладання заряду за формулою

$$w = \left[\left(\frac{x_1}{K_{x_1}} \right)^{\frac{1}{\mu_{x_1}}} \left(\frac{K_{x_2}}{x_2} \right)^{\frac{1}{\mu_{x_2}}} \right]^{\frac{\mu_{x_1} \mu_{x_2}}{\mu_{x_2} - \mu_{x_1}}}, \quad (1)$$

де K_{x_1} , μ_{x_1} – експериментальні коефіцієнти, величини яких приймаються з табл. 1 для заданого розміру воронки x_1 в залежності від прийнятої області емпіричної подібності по безрозмірному комплексу π_{1c} ; K_{x_2} , μ_{x_2} – експериментальні кое-

фіцієнти, величини яких теж приймаються з табл. 1 для другого заданого розміру воронки x_2 і тієї ж області емпіричної подібності по комплексу π_{1c} .

Таблиця 1. Значення параметрів K_x, μ_x

Параметри Розміри	K_x	μ_x	Область емпіричної подібності по комплексу π_{1c}
R	0,013	1,145	$\pi_{1c} \leq 38,1$
	0,339	0,249	$38,1 < \pi_{1c} \leq 28850$
	0,576	0,198	$\pi_{1c} \geq 28850$
H	0,0025	1,191	$\pi_{1c} \leq 101,1$
	0,238	0,203	$\pi_{1c} > 101,1$
S	$4,316 \cdot 10^{-5}$	2,336	$\pi_{1c} \leq 66,7$
	0,133	0,423	$\pi_{1c} \geq 66,7$
	$4,816 \cdot 10^{-5}$	2,256	$\pi_{1c} \leq 81,0$
V	0,0585	0,64	$0,81 \leq \pi_{1c} \leq 1,2 \cdot 10^6$
	0,214	0,547	$\pi_{1c} > 1,2 \cdot 10^6$

Для заданого розміру воронки (виїмки) x_1 чи x_2 і відповідної області емпіричної подібності по π_{1c} розраховується маса заряду C за формулою [6]

$$C = K_{BP} A_x x^{a_x} w^{a_{w_x}} \rho_0^{\frac{2}{3}} \alpha_1^{-\frac{1}{3}}, \quad (2)$$

де A_x, a_x, a_{w_x} – параметри [табл. 2], що визначаються з експериментальних досліджень залежно від відповідного розміру воронки (виїмки) x і величини безрозмірного комплексу π_{1c} ; ρ_0 – щільність ґрунту; α_1 – вільна пористість.

Потім за формулою

$$\pi_{1c} = 2,54 \cdot 10^4 \cdot K_{BP}^{-1} C w^{\frac{11}{3}} \rho_0^{-\frac{2}{3}} \alpha_1^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

для отриманих C і w визначають величину безрозмірного комплексу π_{1c} і перевіряють його відповідність попередньо прийнятій області емпіричної подібності. У випадку такої невідповідності розрахунок необхідно повторити для іншої області емпіричної подібності.

Приклад розв'язання задачі 2 при заданих двох розмірах воронки.

Нехай маємо вихідні дані для розрахунку: ґрунтом є алювіальні слабозв'язані відклади щільністю $\rho = 1550 \text{ кг/м}^3$ з вільною пористістю $\alpha_1 = 0,3$, ВР – гранульований тротил (ТНТ), для якого $K_{BP} = 1,2$. Визначити глибину закладання і масу заряду ВР, що забезпечить в результаті вибуху отримання воронки радіусом поверху $x_1 = R = 4,4 \text{ м}$ і глибиною $x_2 = H = 1,65 \text{ м}$.

Таблиця 2. Значення параметрів формули (2)

x	A_x	a_x	a_{w_x}	Область емпіричної подібності по параметру π_{1c}
R	$1,735 \cdot 10^{-3}$ $2,984 \cdot 10^{-3}$ $6,345 \cdot 10^{-4}$	0,873 4,011 5,058	2,792 -0,345 -1,391	$\pi_{1c} \leq 38,1$ $38,1 < \pi_{1c} \leq 28850$ $\pi_{1c} \geq 28850$
H	$6,016 \cdot 10^{-3}$ $4,562 \cdot 10^{-3}$	0,84 4,921	2,828 -1,254	$\pi_{1c} \leq 101,1$ $\pi_{1c} > 101,1$
S	$2,888 \cdot 10^{-3}$ $4,590 \cdot 10^{-3}$	0,428 2,364	2,810 -1,061	$\pi_{1c} \leq 66,7$ $\pi_{1c} > 66,7$
V	$3,206 \cdot 10^{-3}$ $3,298 \cdot 10^{-3}$ $6,552 \cdot 10^{-4}$	0,443 1,563 0,443	2,335 -1,020 2,335	$\pi_{1c} \leq 81,0$ $81,0 < \pi_{1c} < 1,2 \cdot 10^6$ $\pi_{1c} \geq 1,2 \cdot 10^6$

За формулою (1), з урахуванням даних табл. 1, визначаємо глибину закладання заряду

$$w = \left[\left(\frac{4,4}{0,339} \right)^{\frac{1}{0,249}} \left(\frac{0,0025}{1,65} \right)^{\frac{1}{1,191}} \right]^{\frac{0,249 \cdot 1,191}{1,191 - 0,249}} = 4,6 \text{ м.}$$

Потім за формулою (2) при коефіцієнтах і показниках степені, наведених у табл. 2 для R , розраховуємо масу заряду

$$C = 1,2 \cdot 2,984 \cdot 10^{-3} \cdot 4,4^{4,011} \cdot 4,6^{-0,345} 1550^{\frac{2}{3}} \cdot 0,3^{\frac{1}{3}} = 161 \text{ кг.}$$

Перевіряємо відповідність π_{1c} області емпіричної подібності. Для цього визначаємо π_{1c} :

$$\pi_{1c} = 2,54 \cdot 10^4 \cdot 1,2^{-1} \cdot 161 \cdot 4,6^{\frac{11}{3}} \cdot 1550^{\frac{2}{3}} \cdot 0,3^{\frac{1}{3}} = 63,27.$$

Бачимо, що розраховане значення $\pi_{1c} = 63,27$ знаходиться в області його емпіричної подібності. Тобто значення $C = 161$ кг і $w = 4,6$ м є шуканим розв'язком задачі.

Коли задають більше двох розмірів воронки (наприклад, радіус поверху R , глибину H і об'єм V), аналітичного розв'язку задачі не існує. Тому її потрібно розв'язувати графічно. Суть такого розв'язання полягає в побудові N (N – число розмірів воронки, що задають) графічних залежностей маси заряду від глибини його закладання за формулою (2) при підставлянні в неї заданих значень розмірів воронки і різних глибин закладання заряду. Точка перетину N залежностей буде розв'язком задачі і визначатиме шукані масу заряду і глибину його закладання. Очевидно, що для кожної пари значень C – w треба

розраховувати значення π_{1c} і перевіряти його відповідність вибраній області емпіричної подібності. Якщо N залежностей не мають спільної точки перетину, то розв'язок задачі (тобто маса заряду C і відповідне їй значення глибини закладання w) вибирається з областей значень C і w , де всі N залежностей проходять максимально близько одна від другої.

Приклад розв'язання задачі 2 при заданих трьох розмірах воронки.

Нехай ґрунт і ВР будуть такими ж, як і в попередньому випадку. Необхідно визначити масу заряду ВР і глибину його закладання для утворення воронки викиду з розмірами $R = 4,4$ м, $H = 1,65$ м, $V = 46$ м³.

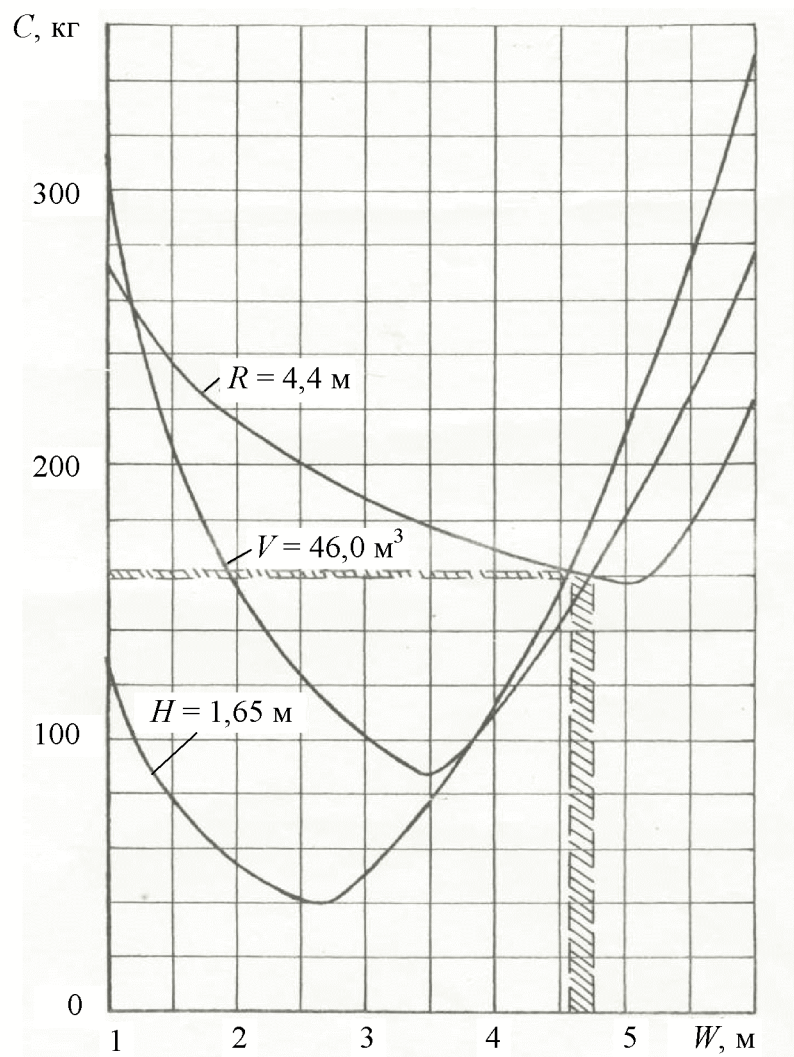
Використовуючи формулу (2), при постійних заданих розмірах воронки R , H , V будемо відповідно три залежності $C = f(w)$, наведені на рисунку. З аналізу кривих випливає, що єдиного розв'язку трьох рівнянь в діапазоні значень $w = 1 \dots 6$ м не існує. Однак з певним наближенням вибух заряду масою 160 кг на глибині $w = 4,6 \dots 4,75$ м (заштрихована зона на рисунку) створить воронку заданих розмірів.

Послідовність розрахунків при розв'язанні задачі 3.

При розв'язанні задачі 3 мінімальна витрата ВР на один кубічний метр виїмки буде забезпечуватися при глибині закладання

$$w_{\text{опт}} = \left(\frac{3,2 \cdot 10^{-3}}{A_x x^{a_x}} \right)^{\frac{1}{a_{w_x} - 3,67}}, \quad (4)$$

де A_x , a_x , a_{w_x} – величини, що приймаються з табл. 2 в залежності від того, який із розмірів x воронки потрібно забезпечити.



Залежність маси сферичного заряду C від глибини його закладання w при заданих трьох розмірах воронки викиду

За формулою (2) при $w = w_{\text{опт}}$ визначається маса заряду $C = C_{\text{опт}}$, після чого за формулою (3) розраховується параметр π_{1c} і перевіряється його відповідність прийнятій області емпіричної подібності. У випадку невідповідності отриманого параметра π_{1c} попередньо прийнятому діапазону його значень необхідно повторити розрахунок для іншого діапазону значень π_{1c} .

Конкретне значення питомої витрати ВР q в $\text{кг}/\text{м}^3$ визначається: при утворенні воронки вибухом одиночного заряду

$$q = \frac{C}{V}; \quad (5)$$

при утворенні виїмки вибухом сферичних зарядів, розміщених в ряд,

$$q = \frac{C}{V_p}, \quad (6)$$

де об'єм V , площа поперечного перерізу S , глибина H воронки визначаються за формулами, що випливають з формули (4) [6],

$$V = K_x \pi_{1c}^{\mu_x} w^3, \quad S = K_x \pi_{1c}^{\mu_x} w^2, \quad H = K_x \pi_{1c}^{\mu_x} w, \quad (7)$$

а об'єм виїмки, утвореної вибухом розміщених у ряд сферичних зарядів,

$$V_p = (n_3 - 1)aS + V, \quad (8)$$

де коефіцієнти K_x і показники степені μ_x наведені в табл. 1; n_3 – кількість зарядів у ряду; a – відстань між центрами сферичних зарядів.

Зазначимо, що за формулами (4) [6] може бути оцінена величина розмірів воронки (виїмки) при $C = C_{\text{опт}}$ і $w = w_{\text{опт}}$.

Приклад розв'язання задачі 3.

Нехай властивості ґрунту і ВР такі, як у попередньому випадку. Потрібно визначити масу заряду і глибину його закладання для утворення воронки з радіусом поверху $R = 4,4$ м при мінімальній питомій витраті ВР. Оптимальна глибина закладання заряду згідно з (4) при використанні діапазону $38,1 < \pi_{1c} \leq 28850$ повинна становити

$$w_{\text{опт}} = \left(\frac{3,2 \cdot 10^{-3}}{2,984 \cdot 10^{-3} \cdot 4,4^{4,011}} \right)^{\frac{1}{-0,345-3,67}} = 4,3 \text{ м.}$$

Тоді згідно з формулою (2) маса заряду

$$C = 1,2 \cdot 2,984 \cdot 10^{-3} \cdot 4,4^{4,011} \cdot 4,3^{-0,345} \cdot 1550^{\frac{2}{3}} \cdot 0,3^{-\frac{1}{3}} = 165 \text{ кг.}$$

Визначаємо безрозмірний комплекс π_{1c} :

$$\pi_{1c} = \frac{2,54 \cdot 10^4}{1,2} \cdot 165 \cdot 4,3^{\frac{11}{3}} \cdot 1550^{-\frac{2}{3}} \cdot 0,3^{\frac{1}{3}} = 81.$$

Отримане значення π_{1c} попадає в попередньо визначений діапазон зміни цього параметра, тобто π_{1c} вибрано вірно. Об'єм воронки викиду (перша формула (7)) і питома витрата ВР (формула (5)) становлять:

$$V = 0,0585 \cdot 81^{0,64} \cdot 4,3^3 = 77,4 \text{ м}^3;$$

$$q = \frac{C}{V} = \frac{165}{77,4} = 2,13 \text{ кг/м}^3.$$

Використовуючи (7), оцінимо розміри воронки H і S :

$$H = 0,0025 \cdot 81^{1,191} \cdot 4,3 = 2 \text{ м};$$

$$S = 0,133 \cdot 81^{0,423} \cdot 4,3^2 = 15,8 \text{ м}^2.$$

У наступній публікації автори висвітлять особливості виконання розрахунків при визначенні параметрів вибухів сферичних зарядів на викид у шаруватих ґрунтових масивах.

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”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2000. – Вип. 2. – С. 29–35.

2. *Лучко І. А.* Результати моделювання дії вибуху на викид сферичних зарядів в однорідних слабкозв’язаних ґрунтах // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2000. – Вип. 3. – С. 14–16.

3. *Лучко І. А., Лучко А. І.* Результати фізичного моделювання дії вибуху на викид сферичних зарядів у шаруватих ґрунтах // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2001. – Вип. 6. – С. 17–21.

4. *Лучко І. А., Лучко А. І.* Дослідження особливостей дії вибуху на викид горизонтальних циліндричних зарядів скінченних розмірів в однорідних слабкозв’язаних ґрунтах // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2004. – Вип. 10. – С. 6–13.

5. *Лучко І. А., Лучко А. І.* Фізичне моделювання дії вибуху на викид горизонтальних циліндричних зарядів скінченних розмірів у шаруватих ґрунтах // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2005. – Вип. 12. – С. 3–7.

6. *Лучко І. А., Лучко А. І.* Особливості розрахунку параметрів сферичних зарядів викиду в однорідних слабкозв’язаних ґрунтових масивах // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2006. – Вип. 13. – С. 3–7.