

УДК 550.34

О.І. Солонець

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА СЕЙСМІЧНОГО ЕФЕКТУ НАЗЕМНОГО ВИБУХУ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ГЕОФІЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ПОЛІГОННИХ ВИПРОБУВАНЬ

В роботі показано актуальність вирішення задачі оцінки сейсмічного ефекту наземних вибухів в ближній зоні спостереження за допомогою підсистеми геофізичного контролю полігонного вимірювально-обчислювального комплексу. Запропоновано методичний апарат визначення сейсмічного ефекту наземних вибухів на основі оцінки максимальної масової швидкості в ґрунтовому масиві, яка зменшується за ступеневою залежністю від відстані від місця вибуху до місця реєстрації сейсмічних хвиль та маси заряду. Введено коефіцієнти, які дозволяють враховувати конкретні умови реєстрації сейсмічного ефекту наземних вибухів.

**Ключові слова:** полігон, геофізика, сейсмічний сигнал.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На даний час досить актуально залишається задача оцінки сейсмічного ефекту наземних вибухів в ближній зоні спостереження. Така необхідність викликана вимогами проведення безпечних будівельних та гірничо-видобувних робіт [1 – 3] та можливістю вирішення задачі забезпечення об'єктивного оперативного контролю бойових стрільб, зокрема що стосується питань дистанційної оцінки результатів бомбометань, ракетних та артилерійських стрільб, за допомогою підсистеми геофізичного контролю перспективного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу [4].

Якщо для глобальних систем проблема контролю ядерних випробувань відносно реєстрації та визначення параметрів ядерних вибухів практично вирішена [5 – 7], то для регіональних (локальних) систем задача оцінки сейсмічного ефекту наземних вибухів в ближній зоні спостереження потребує додаткових досліджень. Особливо, коли мова йде про створення перспективних систем (підсистеми геофізичного контролю полігонного вимірювально-обчислювального комплексу) та висування до них певних оперативно-тактичних вимог.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [4] показано актуальність розробки нових підходів до об'єктивного оперативного контролю полігонних випробувань. Зокрема, запропоновано варіант підсистеми геофізичного контролю перспективного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу для оперативного контролю бойових стрільб, яка дозволить здійснювати дистанційну оцінку результатів бомбометань, ракетних та артилерійських стрільб. Висунуто основні вимоги щодо забезпечення функціонування запропонованої підсистеми та оцінено помилки визначення координат джерела сейсмічного збурення при її використанні.

Для визначення ж потенційних можливостей підсистеми геофізичного контролю щодо вирішення задачі забезпечення об'єктивного оперативного контролю бойових стрільб необхідно провести аналіз енергетичної чутливості підсистеми, а саме оцінити її можливості щодо реєстрації сейсмічного відгуку на вибухові джерела.

**Формулювання мети статті.** Таким чином, метою статті є розробка методичного апарату визначення сейсмічного ефекту наземних вибухів за допомогою підсистеми геофізичного контролю полігонного вимірювально-обчислювального комплексу при проведенні полігонних випробувань.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Основним параметром сейсмовибухових хвиль, які поширюються в ґрунті при наземних вибухах (під час гірничо-видобувних робіт, бомбометань, ракетних та артилерійських стрільб) є максимальна масова швидкість в ґрунтовому масиві (в м/с) [7 – 8], яка зменшується за ступеневою залежністю від приведеної відстані  $\bar{R}$ :

$$u = K\bar{R}^{-n}, \quad (1)$$

де коефіцієнт пропорційності  $K$  визначається, як правило, експериментальним шляхом для кожних конкретних умов реєстрації вибухових джерел;

$$\bar{R} = RQ^{-1/3}, \quad (2)$$

де  $R$  – відстань від місця вибуху до місця реєстрації сейсмічних хвиль, м;  $Q$  – маса заряду вибухової речовини (ВР), кг;

$$n = 2,21R^{-0,05}. \quad (3)$$

В загальному випадку коефіцієнт пропорційності  $K$  можна визначити аналітично як [3, 7 – 8]:

$$K = k_u k_m k_q k_h k_g, \quad (4)$$

де  $k_u$ ,  $k_m$  – коефіцієнти, які враховують фізико-механічні властивості ґрунту;  $k_q$  – коефіцієнт, який враховує тип ВР;  $k_h$  – коефіцієнт, який враховує глибину підриву:

$$k_u = \left[ \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} \right]^{2/3} \left( \frac{C_p}{\rho} \right)^{1/3}, \quad (5)$$

$$k_m = \sqrt{\frac{\rho C_p}{\rho C_{pед}}}, \quad (6)$$

$$k_q = \sqrt[6]{\frac{Q}{\alpha M_{вр}}}, \quad (7)$$

$$k_h = 1 - e^{-\frac{4(2\bar{x}+3)}{3}}, \quad (8)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона ґрунту в місці вибуху;  $\rho$  – щільність ґрунту в місці вибуху, т/м<sup>3</sup>;  $C_p$  – швидкість поширення повздовжніх хвиль в ґрунті в місці вибуху, м/с;  $C_{pед}$  – швидкість поширення повздовжніх хвиль в ґрунті в місці реєстрації сейсмічних хвиль (розташування сейсмічного датчика), м/с;  $Q$  – маса вибухової речовини, яка дорівнює 1 т;  $\alpha$  – коефіцієнт еквівалентності ВР, рівний відношенню питомих енергій висадженої ВР та тринітротолуолу (ТНТ) при питомій енергії вибуху ТНТ 4520 кДж/кг, який визначається з табл. 1 [8];  $M_{вр}$  – маса підірваної ВР;

$$\bar{x} = \frac{z_0}{r_{00}}, \quad (9)$$

де  $z_0$  – координата центру тяжіння ВР (глибина підриву ВР, позитивна щодо напрямку до центру Землі);  $r_{00}$  – радіус еквівалентного сферичного заряду:

$$r_{00} = 0,062\sqrt[3]{\alpha M_{вр}}. \quad (10)$$

Таблиця 1  
Коефіцієнти еквівалентності деяких ВР

ВР	$\alpha$	ВР	$\alpha$
ТНТ	1,0	Пенталит	1,0
Гексоген	1,19	Октол	0,99
Октоген	1,26	ТГ 50/50	1,14
ТЕН	1,28	Амматол	0,59
Тетрил	1,0	А-ІХ-2	1,55

Коефіцієнт  $k_g$  залежить від рівня ґрунтових вод  $H_{гр}$  та визначається за табл. 2 [8].

При практичних розрахунках у (1)  $\bar{R}$  визначається через ефективну масу ВР  $Q_{еф}$ :

$$\bar{R} = R Q_{еф}^{-1/3}, \quad (11)$$

$$Q_{еф} = (1 - \varepsilon) \alpha M_{вр}, \quad (12)$$

де  $\varepsilon$  – частка енергії вибуху, яка витрачається на утворення воронки (для скельних ґрунтів  $\varepsilon = 0,05$ , для м'яких  $\varepsilon = 0,2$ ; при консервативних оцінках  $\varepsilon = 0$ ).

Таблиця 2

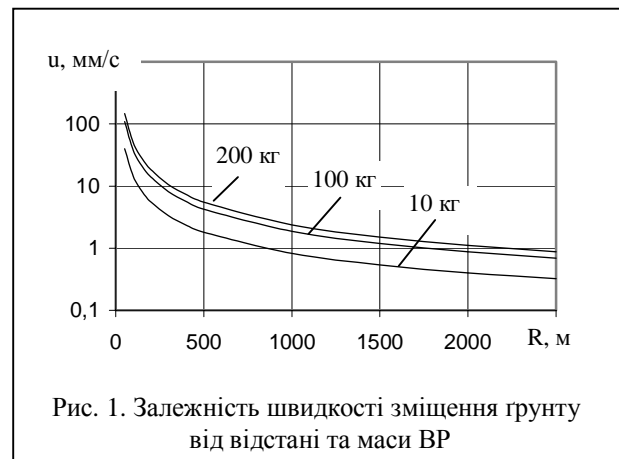
Значення коефіцієнта  $k_g$  для різних ґрунтів

Ґрунт	$H_{гр}$	$k_g$
Скельний незруйнований	–	1
Скельний зруйнований товщиною 1–2 м	–	1,6
Піщано-глинисті відкладення товщиною більше 30 м	10	1
	7,5	1,2-1,5
Піщано-глинисті відкладення товщиною менше 30 м	≤ 5	2,0
	10	1,2-1,5
Насипний шар товщиною до 5 м	7,5	2,0
	≤ 5	2,5-3,0
Сильно зневоднений	–	3,5
	–	5,0

На практиці можливо використовувати деякі спрощення при розрахунку виразу (1). Зокрема, при умові однорідності середовища поширення сейсмічних хвиль в межах майданчика спостереження (полігона) приймається  $k_m = 1$ . Коефіцієнт  $k_q$  необхідно визначати, якщо  $\alpha M_{вр}$  відрізняється від  $Q$  більш, ніж на три порядки, в противному випадку  $k_q = 1$ .

В якості прикладу можна розглянути варіант підриву умовної бойової частини вагою 100 кг із заповненням ТНТ в умовах розташування полігона на піщано-глинистих відкладення товщиною більше 30 м. В даному випадку приймаються значення  $C_p = 800$  м/с;  $\nu = 0,35$ ;  $\rho = 1,4$  т/м<sup>3</sup>. При заданих вихідних даних максимальна масова швидкість в ґрунтовому масиві на відстані 500 м  $u \approx 4,2$  мм/с.

Узагальнені залежності максимальної масової швидкості в ґрунтовому масиві від відстані до місця вибуху та від маси підірваної ВР (ТНТ) в логарифмічному масштабі наведено на рис. 1.



Як і передбачалось, максимальна масова швидкість в ґрунтовому масиві зменшується за ступеневою залежністю при збільшенні відстані від місця вибуху до місця реєстрації сейсмічних хвиль. Зменшується відповідно і сейсмічний ефект наземного вибуху при зменшенні маси підірваної ВР. Аналогічні залежності можна отримати для кожних конкретних умов (конкретного полігону) при реєстрації сейсмічного ефекту наземних вибухів від усієї номенклатури випробуваних (застосованих) боеприпасів.

### Висновки

При створенні підсистеми геофізичного контролю полігонного вимірювально-обчислювального комплексу та висуванні до них певних оперативнотактичних вимог щодо забезпечення об'єктивного оперативного контролю бойових стрільб, дистанційної оцінки результатів бомбометань, ракетних та артилерійських стрільб необхідно вирішувати задачу оцінки сейсмічного ефекту наземних вибухів в ближній зоні спостереження. Ця задача може бути вирішена за допомогою методичного апарату визначення сейсмічного ефекту наземних вибухів на основі оцінки максимальної масової швидкості в ґрунтовому масиві, яка зменшується за ступеневою залежністю від відстані від місця вибуху до місця реєстрації сейсмічних хвиль та маси заряду.

Враховуючи введені коефіцієнти, які характеризують конкретні умови реєстрації сейсмічного ефекту наземних вибухів (конкретний полігон) та конкретну номенклатуру випробуваних (застосованих) боеприпасів, можна запропонувати конкретну апаратурну реалізацію підсистеми геофізичного контролю полігонних випробувань, оптимальну за критерієм ефективність-вартість.

### Список літератури

1. *Безопасность взрывных работ в промышленности: моногр. / под общ. ред. Б.Н. Кутузова. – М.: Недра, 1992. – 544 с.*
2. *Богацкий В.Ф. Сейсмическая безопасность при взрывных работах / В.Ф. Богацкий, В.Х. Пергамент. – М.: Недра, 1978. – 128 с.*
3. *Цейтлин Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий. – М.: Недра, 1981. – 192 с.*
4. *Солонец О.И. Подсистема геофизического контроля полигонных испытаний / О.И. Солонец // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2010. – Вып. 2 (14). – С. 187-190.*
5. *Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров. – М.: Крас. Окт., 2005. – 420 с.*
6. *Пасечник И.П. Характеристики сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях / И.П. Пасечник. – М.: Наука, 1970. – 191 с.*
7. *Аптикаев Ф.Ф. Сейсмические колебания при землетрясениях и взрывах / Ф.Ф. Аптикаев. – М.: Наука, 1969. – 104 с.*
8. *Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия: РБ Г-05-039-96: утв. Госатомнадзором России 31.12.96; введ. в действие с 01.08.97. – М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. – 118 с.*

Надійшла до редколегії 1.10.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НАЗЕМНОГО ВЗРЫВА ДЛЯ ПОДСИСТЕМЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

А.И. Солонец

*В работе показана актуальность решения задачи оценки сейсмического эффекта наземных взрывов в ближней зоне наблюдения с помощью подсистемы геофизического контроля полигонного измерительно-вычислительного комплекса. Предложен методический аппарат определения сейсмического эффекта наземных взрывов на основе оценки максимальной массовой скорости в ґрунтовом массиве, которая уменьшается по степенной зависимости от расстояния от места взрыва до места регистрации сейсмических волн и массы заряда. Введены коэффициенты, которые позволяют учитывать конкретные условия регистрации сейсмического эффекта наземных взрывов.*

**Ключевые слова:** полигон, геофизика, сейсмический сигнал.

### ESTIMATION OF SEISMIC EFFECT OF SURFACE EXPLOSION FOR SUBSYSTEM OF GEOPHYSICAL CONTROL OF GROUND TESTS

A.I. Solonets

*Actuality of estimation of seismic effect of surface explosions in the near area of supervision by the subsystem of geophysical control of ground measuring-calculable complex is shown in work. The methodical vehicle of determination of seismic effect of surface explosions is offered on the basis of estimation of high mass speed in a grunt array, which diminishes on sedate dependence on distance from the place of explosion to the place of seismic waves registration and mass of charge. Coefficients which allow to take into account the concrete terms of seismic effect registration of surface explosions are entered.*

**Keywords:** ground, geophysics, seismic signal.