

УДК 355.681

В.Л. Сидоренко<sup>1</sup>, С.І. Азаров<sup>2</sup><sup>1</sup>Інститут державного управління у сфері цивільного захисту УЦЗ України, Київ<sup>2</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДСТАНЕЙ ПРИ ОСКОЛОЧНІЙ ДІЇ ВИБУХУ

Наведено обґрунтування нового підходу до аналізу осколочної дії вибухів, як уражаючих факторів при вибуху боєприпасів на об'єктах класу "Арсенал".

склади боєприпасів, надзвичайна ситуація, осколки снарядів, небезпечні відстані

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Проблема уникнення аварій і надзвичайних ситуацій (НС), які пов'язані з об'єктами зберігання вибухових речовин, предметів і матеріалів, є достатньо актуальною для нашої держави. Прикладом можуть служити великомасштабні НС з чисельними вибухами в Артемівську, Новобогданівці, Цвітосі та ін., які відбувалися з людськими втратами та мільйонними збитками [1, 2].

Як показують дослідження [3, 4], при виникненні НС на складах боєприпасів істотну роль відіграють такі основні уражаючі фактори аварій як тривалість дії ударної хвилі, пов'язаний з нею параметр імпульсу вибуху, теплове випромінювання процесу вибуху і можливої пожежі тощо. Однак, такому небезпечному фактору аварії, як механічний вплив при ураженні осколками приділяється мало уваги.

Саме тому вивчення впливу осколочної дії на оточення при аварійному вибуху на об'єктах класу "Арсенал" є однією з найважливіших складових на шляху вирішення науково-практичної задачі.

**Мета статті.** Запропонувати методика визначення відносно безпечних відстаней для розміщення або евакуації особового складу при аварійному вибуху на складах боєприпасів, а також визначити ймовірності травмування персоналу об'єкта та аварійно-рятувальних підрозділів для розрахунку споруд цивільного захисту, які розташовані на технічній території.

### Основна частина

#### Виклад основного матеріалу досліджень.

При вибуховому руйнуванні (фрагментації) стінок оболонок боєприпасів, джерелом вибуху якого є заряд потужної концентрованої вибухової речовини, утворюється множина дрібних осколків, які розлітаються із швидкостями, які досягають декількох кілометрів за секунду [5]. Осколки, що утворюються, являють собою плоскообтічні тіла, маса яких складає від 0,1 до 50 г і більше.

На рис. 1 наведені графіки розподілу залежності

мас осколків ( $m_{\text{оск.}}$ ) снарядів калібру 30 мм від їх кількості ( $n$ ).

Щільність розльоту осколків убуває суворо пропорційно квадрату їх відстані від джерела вибуху.

Важливим для розрахунку небезпечних відстаней є значення дальності і часу польоту осколків.

Розкид значень радіуса розльоту осколків при вибухах підпорядковується закону нормальної ймовірності розподілу. При цьому 90 % всіх осколків, незалежно від їх розмірів, знаходяться у межах окружності розміром не більше 700 м.

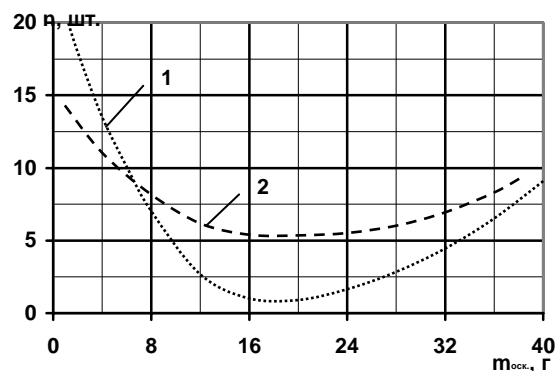


Рис. 1. Графіки розподілу залежності мас осколків ( $m_{\text{оск.}}$ ) куледробного (1) і осколочно-фугасного снарядів калібру 30 мм від їх кількості ( $n$ )

У табл. 1 наведені орієнтовні відстані розльоту осколків поодиноких боєприпасів при їх вибуху.

Швидкість розльоту осколків боєприпасів можна визначити за формулою [8]:

$$V_p = k \sqrt{\frac{m}{c} + \frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який приймається у межах 2,5 – 2,8 км/с;  $m$  – маса оболонки бойової частини боєприпасу;  $c$  – маса заряду вибухової речовини.

Знаючи швидкість розльоту осколків, можна визначити дальність їх польоту.

Згідно з газодинамічною теорією [9] сила контактної взаємодії осколка боєприпасу з біологічним об'єктом має наступний вид:

$$P_b(t) = \rho_b V_c^2 \pi r_b^2. \quad (2)$$

Тут  $\rho_b = 3m/4\pi ab^2, \quad (3)$

$$r_b = \frac{b}{a} \sqrt{2V_c t_b a - V_c^2 t_b^2}, \quad (4)$$

де  $\rho_b$  – щільність осколка;  $V_c$  – швидкість зіткнення осколка з біологічним тілом;  $r_b$  – радіус попадання осколка у біологічне тіло;  $a, b$  – геометричні розміри осколка (довжина і товщина).

Таблиця 1

Орієнтовні відстані розльоту осколків поодиноких боеприпасів при випадковому їх вибуху [5 – 7]

Найменування боеприпасу	Вага бойової частини, кг	Вага снаряду, кг	Площа ураження при залповому вибуху, га	Максимальний радіус розльоту осколків, м
Реактивний снаряд 9М22У, МЗ-21 "Град"	5,6 – 6,6	56 – 66	4,0	–
Реактивний снаряд 9М27Ф "Ураган"	~ 20	200,4	29,0	–
Реактивний снаряд 9М55К "Смерч"	~ 29	298	67,0	–
Реактивні протитанкові гранати РПГ-18, РПГ-22, РПГ-26	1,4 – 2,2	4,5 – 16,5	–	600
Постріли до гранатометів АГС-17, ГП-25	0,255 – 0,28		–	200
Протитанкові засоби ПТКР, ПГП	1,2 – 2,0	4,8 – 16,7	–	450
Снаряди калібру 120-203 мм	4,0 – 6,0	20,5 – 46	–	700
Снаряди калібру до 100 мм	3,5	16,7	–	650
Міні калібру 82-120 мм	3,0	3,2 – 15,9		500
Ручні гранати Ф-1, РГО	0,53 – 0,6	1,2		200
Ручні гранати РГД-5, РГ-42, РГН	0,31 – 0,42	1,0		100

Час дії динамічного навантаження від ураження осколком біологічного об'єкта визначається за формулою:

$$t_b = k_b \frac{2a}{V_c}, \quad (5)$$

де  $k_b$  – коефіцієнт, який визначається експериментально ( $k_b = 0,9 \div 1,25$ ).

Закон розподілу контактного тиску можна записати у наступному вигляді:

$$P_k(r, t) = P_b(t) \left[ 1 - \frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{r_b^2} \right]^{1/2}, \quad (6)$$

де  $x_0, y_0$  – координати центра падаючого навантаження.

На рис. 2 наведений розрахований за формулами (2) – (5) змінений контактний тиск ( $\Delta P$ ) осколка боеприпасу на біологічний об'єкт від часу ( $t$ ) при різних швидкостях зіткнення.

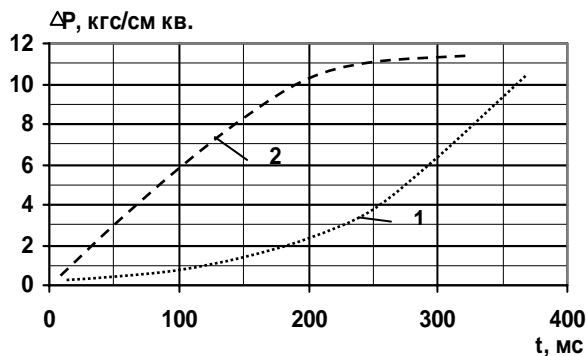


Рис. 2. Залежність зміни контактної тиску на біологічний об'єкт від часу при швидкості зіткнення осколка боеприпасу:  $V_c = 830$  м/с (1) і  $V_c = 1700$  м/с (2)

Імовірність ураження військовослужбовця осколками від снаряда можна визначити як імовірність попадання у нього хоча б одного осколка. При цьому щільність розподілу фрагментів осколків снаряда може бути описаний законом Пуассона. Тоді вираз для умовної ймовірності ураження осколками у випадку асиметричного розподілу осколків буде мати вид [8]:

$$Q = 1 - \exp[-SNf(r_n)], \quad (7)$$

де  $S$  – кутовий розмір людини;  $N$  – частка фрагментів (осколків) снарядів, здатних уразити військовослужбовця;  $f(r_n)$  – розподіл фрагментів осколків снарядів (щільність залежить від відстані).

Причому

$$f(r_n) = \frac{N n(r_n)}{2\pi}, \quad (8)$$

де  $n(r_n)$  – доля осколків снаряда на відстані  $r$ .

Гранична швидкість осколків може бути виражена наступною залежністю [8]:

$$V_n = \zeta_n \left( \frac{S_0}{m_0} \right) + 22,03, \quad (9)$$

де  $V_n$  – гранична швидкість осколка, при якій у 5 % шкіряний покрив пробиває наскрізь;  $\zeta_n$  – коефіцієнт рівний 1247;  $S_0$  – міделевий перетин осколка (площа перетину осколка у напрямі його руху);  $m_0$  – маса осколка.

Для осколків снаряда, які летять кромкою вперед (найбільш небезпечний випадок) і мають форму квадрата (із стороною  $a$ ) та товщиною від 3 до 6 мм при щільності  $8000$  кг/м<sup>3</sup>, отримані розраховані значення граничних швидкостей (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри осколків снаряда при їх уражаючому впливі на військовослужбовця

Маса осколка, г	Гранична швидкість осколка, м/с	Міделевий перетин на 1 кг осколка, м <sup>2</sup> /кг	
		b =3 мм	b =6 мм
0,1	120	0,12	0,17
1,0	70	0,04	0,06
10,0	50	0,01	0,02

Як бачимо з табл. 3, із збільшенням маси осколка зменшується гранична швидкість, при якій у 50 % випадків відбувається ураження військовослужбовця.

Таким чином, ступінь ураження військовослужбовця осколками буде залежати від маси, швидкості і форми осколка.

Осколок масою 1 кг, який влучає у каску військово-службовця, при швидкості 4,57 м/с призводить до струсу мозку, а при 9,82 м/с – до проламу захисної каски.

Параметри пробіт-функції уражаючих осколків при вибуху боєприпасів

Вид і маса осколка	Коефіцієнти		Величина уражаючого фактора, D	Примітка
	A	B		
Ріжучі осколки масою до 0,1 кг	- 29,6	2,1	$m_0V^{5,12}$	$m_0$ – маса осколка; $V$ – швидкість осколка
Ударні осколки масою до 0,1 кг	- 17,6	5,3	$0,5m_0V^2$	
Осколки масою від 0,1 до 4,2 кг	- 13,2	10,5	$V$	

### Висновки

Проведення розрахунків уражаючої здатності осколків снарядів та максимальної відстані їх розльоту, а також умовної ймовірності ураження військовослужбовця осколками на основі запропонованої методики дозволить визначити безпечну відстань для розміщення або евакуації особового складу при випадковому вибуху боєприпасів та розміщення необхідних захисних інженерних споруд з певними параметрами на технічній, а у разі необхідності, і на прилеглий території відповідних об'єктів підвищеної небезпеки.

Необхідні подальші дослідження у цьому напрямку з урахуванням накопиченого досвіду.

### Список літератури

1. Указ Президента України "Про рішення Ради національної безпеки та оборони України від 26 травня 2004 року «Про стан зберігання боєприпасів і вибухових речовин на арсеналах, базах і складах Збройних Сил України»".
2. Токаревский В.В., Азаров С.И., Сорокин Г.А., Сидоренко В.Л. Аварии на взрывопожароопасных объектах и моделирование их экологических последствий // Экология і ресурси: Зб. наук. праць ІПНБ. – К.: ІПНБ, 2005. – № 11. – С. 59-72.
3. Адаменко М.І., Гелета О.В., Квітковський Ю.В., Росоха В.О., Федюк І.Б. Безпека зберігання вибухових речовин

Для визначення умовної ймовірності травмування військовослужбовця була використана пробіт-функція у вигляді [10]:

$$W(r, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\infty}^{\text{Pr}(t)-5} \exp\left[-\frac{U(r, t)^2}{2}\right] dU(r, t) dt, \quad (10)$$

де  $U(r, t)$  – параметр нещасного випадку від уражаючого фактора для військовослужбовця, який знаходиться на відстані  $r$  від місця аварії.

Величину пробіт-функції у загальному вигляді можна виразити наступним чином [10]:

$$P_r = A + B \ln \int_0^t D(t) dt, \quad (11)$$

Параметри для пробіт-функції для уражаючих факторів аварії – осколків снарядів у постійний момент часу наведені у табл. 3.

Таблиця 3

та боєприпасів: Навч. Посібник / Під заг. ред. В.О. Росохи. – Х.: ХІВС, 2005. – 337 с.

4. Адаменко М.І. Методика розрахунку максимальних небезпечних відстаней при вибуху штабелю боєприпасів // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 2 (60). – С. 140-141.

5. Стрельба наземной артиллерии. – М.: Воениздат, 1970. – 446 с.

6. Учебник сержанта ракетных войск и артиллерии. – М.: Воениздат, 1989. – 223 с.

7. Кюпор И.И. Учебник сержанта зенитной артиллерии. – М.: Воениздат, 1948. – 300 с.

8. Байкер У., Кокс П., Уэстайн Н. Взрывчатые явления, Оценка и последствия. – М.: Мир, 1986. – 319 с.

9. Физика взрыва. Под ред. Л.П. Орленко. В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2002. – Т. 2. – 656 с.

10. Азаров С.І., Перімов Р.В. Математична модель оцінки ризику травмування // Вісник НТУУ "КПІ": Зб. наук. праць НТУУ "КПІ". – Сер. "Гірництво". – 2004. – № 10. – С. 128-132.

Надійшла до редакції 14.12.2007

**Рецензент:** канд. фіз.-мат. наук., ст. наук. співробітник В.І. Гранцев, Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ.