

УДК 614.841.12 : 355.12

В.Л. Сидоренко¹, С.І. Азаров²

¹Інститут державного управління у сфері цивільного захисту УЦЗ України, Київ

²Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

МОДЕЛЬ УРАЖЕННЯ ЛЮДИНИ ОСКОЛКАМИ ПРИ ВИБУХУ БОЄПРИПАСІВ

На основі теорії удару досліджено явище пружного і не пружного відскоку осколків у процесі вибуху боєприпасів на артскладах. Аналітичне дослідження виконане з обліком колективного й індивідуального руху осколків у просторі та механізму їхньої взаємодії з біологічним тілом. Розглянута методика оцінки механічного впливу осколків при вибуху боєприпасів на людей.

надзвичайна ситуація, осколки боєприпасів, біологічне тіло, умовна ймовірність ураження

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури.

Запобігання загибелі людей у разі загрози або виникнення надзвичайної ситуації на об'єктах зберігання боєприпасів, зменшення матеріальних витрат з урахуванням останніх подій, пов'язаних з аваріями на базах зберігання боєприпасів у Збройних Силах України є актуальною проблемою забезпечення життєдіяльності військовослужбовців.

Проблему механічного впливу осколків на людину при вибуху боєприпасів на об'єктах зберігання вибухонебезпечних речовин і предметів у цей час розглядають, як правило, без науково-теоретичного забезпечення і практичних рекомендацій.

Мета статті. Запропонувати методику визначення негативних наслідків механічного впливу осколків на довкілля при випадковому вибуху на артскладі для визначення умовної ймовірності ураження людини для розрахунку захисних і організаційних заходів щодо мінімізації санітарних втрат і матеріальних збитків.

Основна частина

Виклад основного матеріалу досліджень.

Осколочно-фугасний вплив вибухової речовини (ВР) на організм людини і довкілля може привести до негативних наслідків. Так, при вибуху 1 кг ВР в захисній оболонці виникає місцевий тиск повітря біля 10^4 МПа при температурі 3000 °С та утворюється приблизно 10^3 л газів і 3000 осколків сумарною масою ~ 10 кг.

На рис. 1 наданий розподіл мас осколків у залежності від їх кількості при вибуху снарядів різних калібрів і гранати [1].

Швидкість руху осколків має вигляд [2]:

$$m_0 \frac{d^2 R_0}{dt_0^2} = \left(P_{ст} - \frac{c_{\Pi} \bar{V}_0^2}{2} \right) \phi r_0^2, \quad (1)$$

де R_0 – радіус розльоту осколків; $P_{ст}$ – статичний тиск продуктів вибуху; ρ_{Π} – щільність повітря за ударною хвилею; \bar{V}_0 – початкова швидкість руху осколків; r_0 – середній радіус осколків; t, t_0 – час.

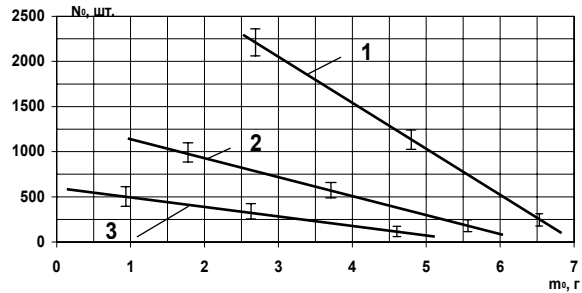


Рис. 1. Графіки розподілу залежності мас осколків в залежності від їх кількості при вибуху снарядів різних калібрів і гранати (1 – снаряд калібру 300 мм; 2 – снаряд калібру 30 мм; 3 – граната Ф-1)

Відстань місця падіння осколка без урахування опору повітря за формулою (рис. 2):

$$R_0 = 2(\bar{V}_{0Y} + gt)^2 \operatorname{ctg} \alpha_0 / g, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння; α_0 – кут, град.

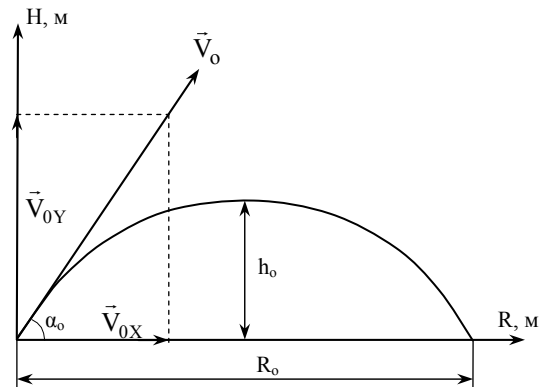


Рис. 2. Схема розрахунку орієнтованого радіуса розльоту осколків від місця вибуху

Початкова швидкість руху осколків має вигляд:

$$\bar{V}_{0Y} = \sqrt{2q \frac{c}{m}}. \quad (3)$$

Тут питома швидкість вибуху:

$$q = \frac{\Delta P \cdot 10^6}{c_{\Pi} (\Gamma_{\Pi} - 1)}, \quad (4)$$

де ΔP – надлишковий тиск вибуху; $\gamma_{\text{п}}$ – показник ізоентропії розширюючихся продуктів вибуху; $C_{\text{п}}$ – маса стиснутого повітря.

Час польоту осколка у повітрі:

$$t_0 = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}, \quad (5)$$

де h_0 – максимальна висота розльоту осколків.

Найбільша швидкість руху осколка буде до моменту, коли він досягне значення h_0 . Отже, на дільниці від 0 до $R_0/2$ його уражаюча дія найбільша.

На рис. 3 наведено розрахована за формулами (1) – (5) залежність орієнтовного радіуса розльоту осколків різної маси від початкового часу. На рис. 4 приведена швидкість фронту руху частини осколків у залежності від радіуса віддалення від місця вибуху.

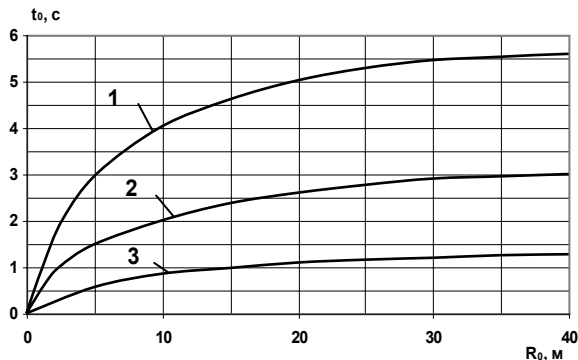


Рис. 3. Орієнтовний радіус розльоту осколків різної маси в залежності від часу польоту (1 – $m_0 = 1$ г; 2 – $m_0 = 5$ г; 3 – $m_0 = 10$ г)

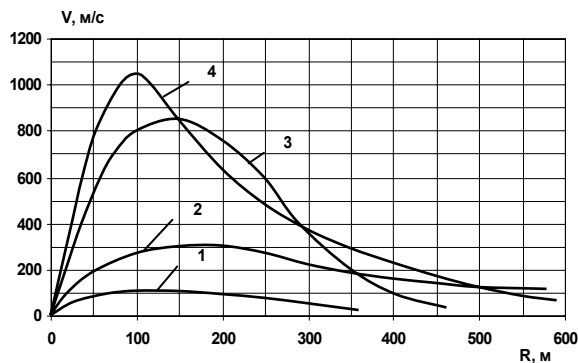


Рис. 4. Швидкість фронту руху частини осколків у залежності віддалення від міста вибуху (1 – $r_0 = 1,0$ мм; 2 – $r_0 = 0,5$ мм; 3 – $r_0 = 0,1$ мм; 4 – $r_0 = 0,05$ мм)

Як видно з рис. 4 рівень та процес розльоту осколків не пов'язані між собою і залежить тільки від розмірів і їх маси.

Розкид значень радіуса розльоту осколків при вибухах підпорядковується закону нормальної ймовірності розподілу, при цьому 90 % всіх осколків незалежно від їх розмірів будуть знаходитися у межах окружності радіусом, який не перевищує 600 м.

Згідно теорії удару [3] зміна кількості руху матеріальної точки (осколка) при пружному ударі у біологічну перешкоду (людину) буде розраховуватися згідно із схемою рис. 5.

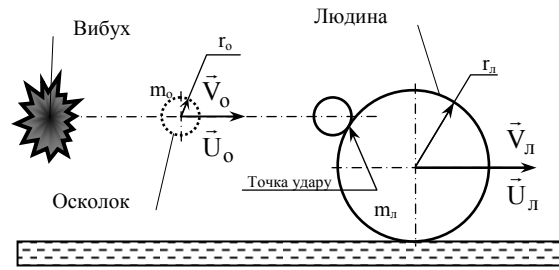


Рис. 5. Умовна схема розрахунку взаємодії двох тіл при пружному ударі

На рис. 5 людина та осколок умовно, для полегшення розрахунків, представлені у вигляді куль. Якщо людину представити у вигляді еліпса, як це звичайно роблять, а осколок – як подовбу об'ємної геометричної фігури, то рахунки значно ускладняться, але похибка кінцевого результату знизиться.

$$\begin{cases} \vec{U}_0 = \frac{2m_{\text{л}}\vec{V}_{\text{л}} + (m_0 - m_{\text{л}})\vec{V}_0}{(m_0 + m_{\text{л}})}; \\ \vec{U}_{\text{л}} = \frac{2m_0\vec{V}_0 + (m_{\text{л}} - m_0)\vec{V}_{\text{л}}}{(m_0 + m_{\text{л}})}, \end{cases} \quad (6)$$

де U – енергія; V – швидкість; m – маса; індекси "о" і "л" – відповідно відносяться до осколка і людини.

Коли людина стоїть ($\vec{V}_{\text{л}} = 0$), тоді:

$$\begin{cases} \vec{U}_0 = \frac{(m_0 - m_{\text{л}})\vec{V}_0}{(m_0 + m_{\text{л}})}; \\ \vec{U}_{\text{л}} = \frac{2m_0\vec{V}_0}{(m_0 + m_{\text{л}})}. \end{cases} \quad (7)$$

Для не пружного удару (рис. 6):

$$\vec{U} = \frac{m_0\vec{V}_0 + m_{\text{л}}\vec{V}_{\text{л}}}{(m_0 + m_{\text{л}})}. \quad (8)$$

Робота деформації осколка:

$$F_0 = \frac{m_0 m_{\text{л}}}{2(m_0 + m_{\text{л}})} (\vec{V}_0 - \vec{V}_{\text{л}})^2. \quad (9)$$

При $V_{\text{л}} = 0$:

$$\vec{U} = \frac{m_0\vec{V}_0}{(m_0 + m_{\text{л}})} W_{\text{к}}; \quad (10)$$

$$F_0 = \frac{m_{\text{л}}}{(m_0 + m_{\text{л}})} W_{\text{к}}, \quad (11)$$

де $W_{\text{к}}$ – кінетична енергія осколка до удару у біологічне тіло.

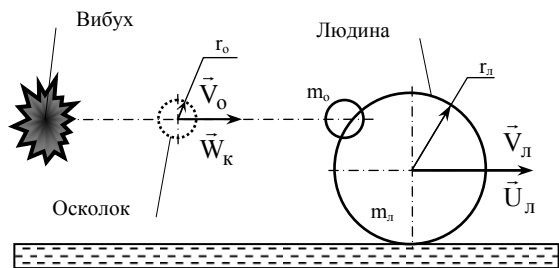


Рис. 6. Умовна схема розрахунку взаємодії двох тіл при непружному ударі

При косому ударі осколка у біологічне тіло вектор руху якого направлений під кутом α до нормалі у точці зіткнення можна записати (рис. 7):

$$m_o V_o \cos \alpha = F_{cp}^2 \tau_y / (1 + k), \quad (11)$$

де F_{cp} – середня ударна сила осколка; τ_y – час ударної дії осколка; k – коефіцієнт відбудови, що характеризує рівень втрат енергії при прямому ударі ($\alpha = 0$) і який дорівнює V_{o1}/V_{o2} .

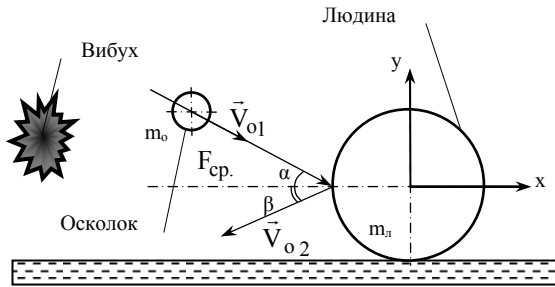


Рис. 7. Умовна схема розрахунку взаємодії двох тіл при косому ударі

Розглянемо задачу проникнення осколка у біологічний об'єкт, що складається із шкіри, м'якої і кісної тканини (рис. 8). Перш, ніж досягти поверхні кісткової тканини, осколок повинний пройти відстань у шкірі і м'якої тканини. Зменшення швидкості осколка буде дорівнювати:

$$V_n = V_{o1} \cos \alpha. \quad (12)$$

Після того, як відбувся удар осколка у біологічне тіло, наявність набряку буде залежати від сили власної ваги осколка і величини сили, що виштовхує осколок (Архімедової сили), складова якої направлена по нормалі F_n і в залежить від орієнтовної поверхні в точці удару відносно сили тяжіння (кут ϕ). Ці сили завжди протилежно направлені і для довільно орієнтованої поверхні вони дорівнюють:

$$\begin{cases} P_n = m_o g \cos \phi; \\ F_{on} = g \gamma_L v_L \cos \phi, \end{cases} \quad (13)$$

де v_L – середній об'єм тканини людини; γ_L – щільність тканини людини.

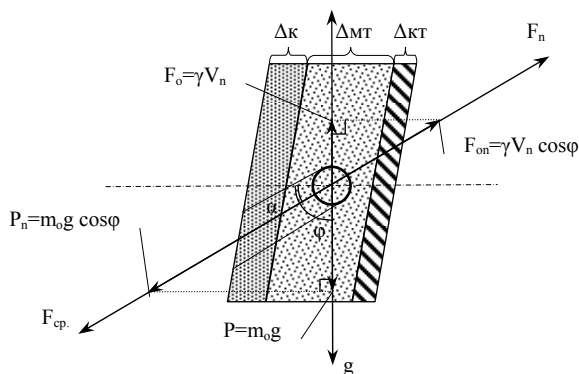


Рис. 8. Схема сил, що діють на осколок після проникнення його після удару у біологічне тіло

Умова (14) включає різні приватні випадки поведінки осколка в біологічному тілі у залежності від кута ϕ :

- при $\phi = 180^\circ$ – осколок влучить у нижні кінцівки тіла людини (ноги, стегна тощо);
- при $\phi = 90^\circ$ – осколок може влучити у все вертикально розташоване тіло людини;
- при $\phi = 0^\circ$ – осколок влучить у верхні кінцівки тіла людини (голова, шия тощо).

Диференціальне рівняння руху осколку у біологічному тілі буде мати вигляд:

$$m_o \bar{V}_n \frac{dV_n}{dx} = -m_o g \cos \phi + g \gamma_L v_L \cos \phi - F_x \gamma_L S_L V_{o1}^2, \quad (14)$$

де F_x – безрозмірний коефіцієнт опору біологічного тіла; S_L – площа ураження осколком у біологічному тілі.

Швидкість осколка перед ударом у біологічне тіло (13):

$$V_n = \left[A^2 + \left(V_{o1}^2 \cos \alpha - A^2 \right) \right] \exp \left(- \frac{3 F_x \gamma_L \delta_L}{2 \gamma_k r_o} \right). \quad (15)$$

$$\text{Тут} \quad A = \sqrt{\frac{4 r_o g}{3 F_x} \left(1 - \frac{\gamma_L}{\gamma_k} \right) \cos \phi}. \quad (16)$$

З урахуванням (17) отримаємо вираз умови проникнення осколка у біологічне тіло:

$$\frac{r_o}{3 f_L \tau} \left[k \gamma \sqrt{A^2 + \left(V_n^2 \cos^2 \alpha - A^2 \right) \exp \left(- \frac{3 F_x \gamma_L S_L}{2 \gamma_k r_o} \right)} + \left(\gamma_L - \gamma_k \right) \tau_y v_L \cos \phi \right] \leq 1, \quad (17)$$

де f_L – питома сила в'язкості тіла.

Після спрощення формули (17) загальні умови приймають наступний вид:

$$H(p) = \frac{r_o \left[k \gamma_L V_n \cos \alpha + \tau_y g \cos \phi \left(\gamma_L - \gamma_k \right) \right]}{3 f_L \tau_y} \leq 1. \quad (18)$$

Таким чином з формули (18) видно, що можуть розглядатися три випадки, коли $H(p) < 1$ (дія осколка безпечна для людини), $H(p) = 1$ (дія осколка на межі ураження) і $H(p) > 1$ (осколок має уражаючу дію).

Висновки

Умови травмування людини осколками при вибуху боеприпасів залежить від множини незалежних величин, які необхідно враховувати при розрахунку умовної ймовірності ураження.

Приведена методика дає можливість визначати механічну дію осколків на біологічне тіло з обліком певних умов при вибуху боеприпасів на арскладах.

Список літератури

1. Балтанский И.Я., Мерзиевский Л.А. Действия средств поражения и боеприпасов – Н-ск: НТТУ. – 2004. – 408 с.
2. Роботнов Ю.М. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. – 377 с.
3. Зукаи Дж.А., Николас Т., Свифт Х.В. Динамика удара. – М.: Мир, 1985. – 296 с.

Надійшла до редколегії 27.12.2007

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