



УДК 629.3.024:623.451.4.083.1

MODEL OF PENETRATION BY EXPLOSIVE DEVICE FRAGMENTS OF CRITICAL ELEMENTS OF MOBILE EQUIPMENT AND VEHICLES FOR A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THREAT RISK ASSESSMENT
МОДЕЛЬ ПРОБИТТЯ ФРАГМЕНТАМИ ВИБУХОВИХ ПРИСТРОЇВ КРИТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА РУХОМИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ЗАГРОЗ

Litvinchuk R.V. / Літвінчук Р.В.

ORCID: 0000-0002-5681-691X

Levchenko A.O./ Левченко А.О.

ORCID: 0000-0003-4423-8267

Military Academy (Odessa), Odessa, Fontanska doroha, 10, 65009
Військова академія (м. Одеса), Одеса, Фонтанська дорога, 10, 65029

Анотація. Аналіз проведених досліджень показав, що найбільш ймовірними ураженням елементів легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем є фрагменти вибухових пристроїв та бойові частини ударних дронів.

В роботі представлено розрахунок ймовірності пробиття товщини елементів легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем. За допомогою аналітичних виразів можна обчислити ймовірності пробиття фрагментами різних типів вибухових пристроїв захисної перешкоди. Проте вони порівняно складні для обчислення і тому в роботі запропоновано використовувати графічні залежності, що побудовані за даними тих засобів ураження, які часто застосовуються для вогневого ураження елементів легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем.

У підсумку, результати дослідження що висвітлені в роботі дають можливість визначити середнє число уражених деталей елементу, або вичислити таку характеристику його очікуваних пошкоджень як ймовірність ураження самого елементу легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем.

Ключові слова: ймовірність ураження, метод моделювання, математичне моделювання, комп'ютерне моделювання, бойові частини ударних дронів, система підтримки прийняття рішень, числові значення, системи обчислень, оцінка ризиків, інтенсивність втрати

Вступ.

Найбільш ймовірними засобами ураження елементів легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем є фрагменти вибухових пристроїв та бойові частини ударних дронів (далі вибухові пристрої). Ймовірність їх ураження зазвичай визначається експериментально, або шляхом обробки накопичення в ході бойових дій в статистичних даних, а також методом натурального фізичного моделювання. Зазначені методи складні, дорогі і не завжди прийнятні, так як достатня кількість експериментальних даних може бути отримана тільки після тривалого бойового використання цих зразків мобільної техніки.

Тому в даній статті представлений варіант обчислення ймовірності пробиття фрагментом вибухових пристроїв захисної перешкоди при вимірянній товщині перешкоди по аналітичним виразам, або по графічним залежностям.



Основний текст.

Припустимо, що подія, що полягає в попаданні фрагмента вибухових пристроїв або бойової частини ударних дронів в елемент легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем рівносила його ураженню. Щоб потрапити в елемент даної техніки фрагмент вибухових пристроїв повинний здолати ряд перешкод. На подолання цих перешкод фрагмент вибухових пристроїв витрачає енергію. Вважатимемо, що якщо після цього він ще має достатню енергію для порушення механічної міцності елемента, то він може його уразити.

Взагалі весь шлях руху фрагментів вибухових пристроїв до даного елемента можна розділити на дві частини:

- вільний політ, коли фрагмент вибухових пристроїв долає тільки опір повітря;
- подолання перешкод;

Рівняння вільного польоту можна представити у вигляді

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -c_x f_{cp} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (1)$$

де m - маса фрагмента вибухових пристроїв;

c_x - коефіцієнт лобового опору фрагмента вибухових пристроїв;

ρ - щільність повітря;

r - шлях вільного польоту фрагмента вибухових пристроїв;

f_{cp} - середнє значення площі проекції фрагмента вибухових пристроїв на площину перпендикулярну напрям польоту (середня площа міделя фрагмента вибухових пристроїв);

v - потокова швидкість польоту фрагментів вибухових пристроїв.

Поставивши значення $f_{cp} = \Phi(\alpha\beta)q^{\frac{2}{3}}$ і ввівши коефіцієнт

$$\lambda = \frac{\Phi(\alpha\beta)C_x \rho g}{2q^{\frac{1}{3}}}, \quad (2)$$

перетворимо (1) до вигляду

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -\lambda v^2, \quad (3)$$

Рішення диференціального рівняння (3) відносно v дає залежність швидкості фрагмента вибухових пристроїв від дальності польоту r

$$v = v_0 e^{-\lambda r}, \quad (4)$$

де v_0 початкова швидкість польоту фрагмента вибухових пристроїв.

У загальному випадку ступінь механічної дії фрагмента вибухових пристроїв та бойових частин ударних дронів на елементи легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем визначається товщиною перешкоди h , яку повинен пробити фрагмент вибухових пристроїв. Їх товщина визначається траєкторією польоту фрагмента вибухових пристроїв і конструкцією елемента даного зразка, властивостями перешкоди, вагою



фрагмента вибухових пристроїв і швидкістю його польоту у момент зустрічі з перешкодою, тобто енергією фрагмента вибухових пристроїв.

Згідно теорії пластичних деформацій, енергія E , що витрачається фрагментом вибухових пристроїв на руйнування перешкоди, віднесена до величини деформованого об'єму W і є величиною постійною і пов'язаною з коефіцієнтом K , що характеризує властивості перешкоди і величину руйнівної дотичної напруги τ матеріалів перешкоди наступним співвідношенням

$$\frac{E}{W} = \alpha k \tau, \alpha = const, \quad (5)$$

чи

$$\frac{mv^2}{2} = \alpha k \tau f \times h, \quad (6)$$

де $W = f \times h$ - деформований об'єм (h - товщина перешкоди, яку може пробити фрагмент вибухових пристроїв)

Враховуючи (4) і ведучи позначення $\lambda = \alpha k \tau$ отримаємо вираз для розрахунку товщини перешкоди, яку може пробити фрагмент вибухових пристроїв, маючи момент зіткнення з перешкодою швидкість v_0 .

$$h = \frac{mv_0^2}{2\alpha f} \times e^{-2\lambda r}, \quad (6)$$

Домножимо чисельник і знаменник співвідношення (6) на f_{cp} і запишемо його в наступному виді

$$\frac{h}{h_0} = \frac{f_{cp}}{f} \times e^{-2\lambda r}, \quad (7)$$

де $h_0 = \frac{mv_0^2}{2\alpha f_{cp}}$ - максимальна товщина перешкоди, яку може пробити фрагмент вибухових пристроїв при $r = 0$.

З (7) видно, що величина $\frac{h}{h_0}$ є випадковою величиною і у кожному конкретному випадку визначається значеннями випадкових величин f і r .

Введемо позначення $\varepsilon = \frac{h}{h_0}$; $\xi = \frac{f_{cp}}{f}$; $\eta = e^{-2\lambda r}$ і запишемо співвідношення (7) в наступному виді

$$\varepsilon = \psi(\xi \times \eta), \quad (8)$$

Наявність функціональної залежності (8) дозволяє по відомих функціях щільності розподілу випадкових величин ξ і η визначити функцію розподілу випадкової величини ε .

$$G(\varepsilon) = \iint_D f(\xi\eta) d\xi d\eta, \quad (9)$$

і, отже, визначити ймовірність пробиття фрагментом вибухових пристроїв захисної перешкоди



$$P_{np}\left(\frac{h}{h_o}\right) = P\left(\frac{h}{h_o} \leq \frac{H}{H_o}\right) = 1 - G\left(\frac{h}{h_o}\right) = 1 - G(\varepsilon), \quad (10)$$

Величина товщини перешкоди, що пробивається фрагментом вибухових пристроїв визначається властивостями матеріалу перешкоди. Особливо великий досвід в оцінці пробивної здатності фрагментів вибухових пристроїв накопичений для дюралевих перешкод. Розрахунковими залежностями для дюралевих перешкод можна скористатися для оцінки пробиття фрагментом вибухових пристроїв перешкод з інших матеріалів, заздалегідь вводячи поняття дюралевого еквіваленту цієї перешкоди. Для цього перешкода завтовшки h замінюється еквівалентною перешкодою h_g яка називається її еквівалентом і визначається по формулі [2]

$$h_g = h \frac{k\tau}{k_g\tau_g}, \quad (11)$$

де τ - величина руйнівних дотичних напруг матеріалу перешкоди;

τ_g - ця ж величина для дюралевих перешкод;

k, k_g - коефіцієнти динамічності що розглядається в тому числі і для дюралевої перешкод, які враховують збільшення опору перешкоди при великих швидкостях зустрічі фрагмента вибухових пристроїв з перешкодою.

Введення поняття дюралевого еквіваленту особливо зручне для оцінки пробивної дії фрагментів вибухових пристроїв при подоланні багатошарової перешкоди.

В цьому випадку ймовірність пробиття цієї перешкоди оцінюється приблизно як ймовірність пробиття одношарової перешкоди, товщина якої дорівнює сумі дюралевих еквівалентів усіх шарів

$$h_{g_i} = \sum_{S=1}^{\ell_i} h_{g_i^s}, \quad (12)$$

де h_{g_i} - сумарна товщина перешкоди i -го елемента включаючи товщину самого елемента, яку повинен пробити фрагмент вибухових пристроїв, щоб урадити елемент;

ℓ_i - число перешкод до i -го елемента на шляху фрагмента вибухових пристроїв;

$h_{g_i^s}$ - товщина S -ої перешкоди, що розташована на шляху до i -го елемента.

Надалі в розрахунках ймовірності пробиття фрагментом вибухових пристроїв захисної перешкоди елемента під товщиною захисної перешкоди розумітимемо суму дюралевих еквівалентів усіх шарів, що оточують цей елемент. Враховуючи той факт, що випадкові величини ξ і η незалежні, можемо представити (9) у виді $G(\varepsilon) = \iint_D f_1(\varepsilon) f_2(\eta) d\xi d\eta$.

Межі інтегрування визначаються з розгляду інтерпретації області D . Для чого задавши значенням ε побудуємо на площині ξ і η криву згідно з виразом $\varepsilon = \xi \times \eta$ (Рисунок 1а і Рисунок 1б)

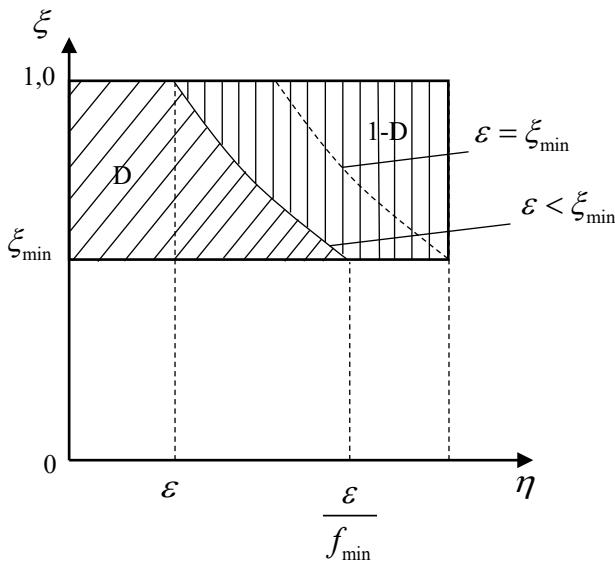


Рисунок 1а -
Межі області при $\epsilon < \xi_{\min}$

Джерело: [Авторська розробка]

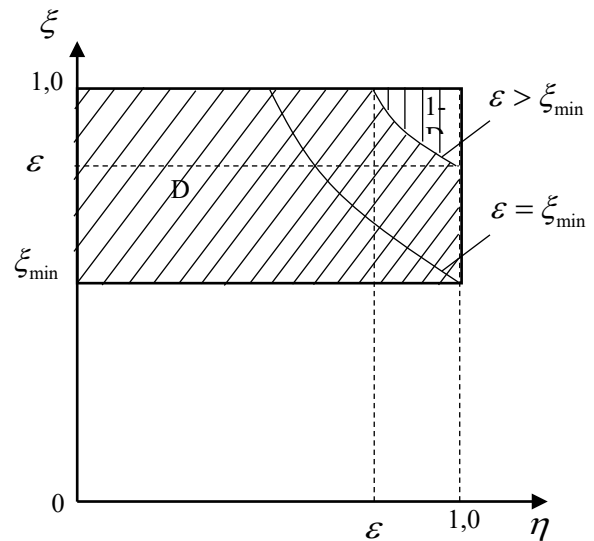


Рисунок 1б -
Межі області при $\epsilon > \xi_{\min}$

Відповідно до Рисуноків 1а і 1б функція розподілу величини рівна

$$G(\epsilon) = \begin{cases} 0 \text{ при } \epsilon \leq 0, \\ G'(\epsilon) = \int_{\xi_{\min}}^{\frac{\epsilon}{\xi}} \int_0^1 f_1(\xi) f_2(\eta) d\xi d\eta \text{ при } 0 < \epsilon < \xi_{\min}, \\ G''(\epsilon) = \int_{\xi_{\min}}^{\frac{\epsilon}{\xi}} \int_0^1 f_1(\xi) f_2(\eta) d\xi d\eta + \int_{\frac{\epsilon}{\xi}}^{\frac{\epsilon}{\xi}} \int_0^1 f_1(\xi) f_2(\eta) d\xi d\eta \text{ при } \xi_{\min} \leq \epsilon < 1, \\ 1 \text{ при } \epsilon \geq 1 \end{cases} \quad , (13)$$

З точки зору техніки інтеграції зручніше розрахувати інтеграл (13) по області I-D. Тоді

$$G(\epsilon) = \begin{cases} 0 \text{ при } \epsilon \leq 0, \\ G'(\epsilon) = 1 - \int_{\xi_{\min}}^{\frac{\epsilon}{\xi}} \int_{\frac{\epsilon}{\xi}}^1 f_1(\xi) f_2(\eta) d\xi d\eta \text{ при } 0 < \epsilon < \xi_{\min}, \\ G''(\epsilon) = 1 - \int_{\frac{\epsilon}{\xi}}^1 \int_{\frac{\epsilon}{\xi}}^1 f_1(\xi) f_2(\eta) d\xi d\eta \text{ при } \xi_{\min} \leq \epsilon < 1 \\ 1 \text{ при } \epsilon \geq 1 \end{cases} \quad . \quad (14)$$

Якщо відома функція щільності розподілу випадкових величин ξ і η які характеризують площу міделя фрагмента вибухових пристроїв f і відстань до розриву бойової частини вибухових пристроїв r відповідно, то можемо



визначити функцію розподілу випадкової величини ε . Проте для деяких типів фрагментів вибухових пристроїв, таких як сталеві кульки, кулькові бомби або кубики правильної форми бойової дрона, величина f мало відрізняється від свого середнього значення і може бути прийнята постійною. У загальному випадку площа міделя фрагмента вибухових пристроїв випадкова і згідно [3] може бути прийнята розподіленою за усіченим нормальним законом.

Розподіл величини r в залежності від типу детонаторів можна описати або законом Релея [4] (у разі підривання бойової частини на рівні землі контактним детонатором), або законом Максвелла [5] (у разі, коли вибуховий пристрій або бойова частина ударного дрону забезпечений дистанційним детонатором). Таким чином можна розділити чотири випадки, при яких закон розподілу величини h_g має свої особливості:

1. Вибухові пристрої з контактним детонатором мають правильну форму фрагментів вибухових пристроїв, тоді

$$f = const; \quad \varphi(r) = \begin{cases} 0 & \text{при } r \leq 0, \\ \frac{r}{\zeta_r^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\zeta_r^2}\right) & \text{при } r > 0. \end{cases} \quad (15)$$

2. Вибухові пристрої з дистанційним детонатором мають правильну форму фрагментів вибухових пристроїв, тоді

$$f = const; \quad \varphi(r) = \begin{cases} 0 & \text{при } r \leq 0, \\ \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{r^2}{\zeta_r^3} \exp\left(-\frac{r^2}{2\zeta_r^2}\right) & \text{при } r > 0. \end{cases} \quad (16)$$

3. Вибухові пристрої мають фрагменти неправильної форми (f - випадкова величина) і споряджені контактним детонатором, тоді

$$n(f) = \begin{cases} 0 & \text{при } f \leq f_{\min}, \\ \frac{A}{\sqrt{2\pi}\zeta_f} \exp\left(-\frac{(f - f_{cp})^2}{2\zeta_f^2}\right) & \text{при } f_{\min} < f < f_{\max}. \end{cases} \quad (17)$$

$$\varphi(r) = \begin{cases} 0 & \text{при } r \leq 0, \\ \frac{r}{\zeta_r^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\zeta_r^2}\right) & \text{при } r > 0 \end{cases}$$

4. Вибухові пристрої мають фрагменти неправильної форми (f - випадкова) і споряджені дистанційним детонатором, тоді

$$n(f) = \begin{cases} 0 & \text{при } f \leq f_{\min}, \\ \frac{A}{\sqrt{2\pi}\zeta_f} \exp\left(-\frac{(f - f_{cp})^2}{2\zeta_f^2}\right) & \text{при } f_{\min} < f < f_{\max}, \end{cases} \quad (18)$$

$$\varphi(r) = \begin{cases} 0 & \text{при } r \leq 0, \\ \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{r^2}{\zeta_r^3} \exp\left(-\frac{r^2}{2\zeta_r^2}\right) & \text{при } r > 0 \end{cases}$$



де ζ_r - величина, що характеризує точність бомбардувально-навігаційних систем даних вибухових пристроїв; $f_{\min}, f_{cp}, f_{\max}$,

ζ_f - величини, що характеризують виміри параметрів f фрагментів вибухових пристроїв у польоті;

A - нормуючий множник, рівний

$$A = \frac{1}{\Phi\left(\frac{f_{\max} - f_{cp}}{\zeta_f}\right) - \Phi\left(\frac{f_{\min} - f_{cp}}{\zeta_f}\right)}, \quad (19)$$

де

$$\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt, \quad (20)$$

Для перших двох випадків величина площі міделя f не є випадковою. Тому і в виразі (7) можна прийняти $\frac{f_{cp}}{f} \approx 1$ і вираз набере вигляду

$$\frac{h_g}{h_0} = e^{-2\lambda r}, \quad (21)$$

чи

$$\varepsilon = \eta = e^{-2\lambda r}, \quad (22)$$

тоді згідно [5] можемо знайти щільність розподілу випадкової функції по відомій щільності розподілу її аргументу r

$$g(\varepsilon) = \left| \frac{d\psi(\varepsilon)}{d\varepsilon} \right| \times \varphi(r = \psi(\varepsilon)), \quad (23)$$

$\varphi(r)$ - щільність розподілу величини r ;

$\psi(\varepsilon)$ - зворотня функція від функції (22), тобто

$$r = \psi(\varepsilon) = -\frac{\ln \varepsilon}{2\lambda}, \quad (24)$$

після перетворень отримаємо

$$g_I(\varepsilon) = \begin{cases} 0 & \text{при } \varepsilon \leq 0, \\ -\frac{\ln \varepsilon}{4\lambda^2 \zeta_r^2 \varepsilon} \exp\left(-\frac{\ln^2 \varepsilon}{8\lambda^2 \zeta_r^2}\right) & \text{при } 0 < \varepsilon < 1, \\ 0 & \text{при } \varepsilon \geq 1 \end{cases} \quad (25)$$

для вибухових пристроїв з контактним детонатором

$$g_{II}(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{\ln^2 \varepsilon}{4\sqrt{2\pi} \lambda^3 \zeta_r^3 \varepsilon} \exp\left(-\frac{\ln^2 \varepsilon}{8\lambda^2 \zeta_r^2}\right) & \text{при } 0 < \varepsilon < 1, \\ 0 & \text{при } \varepsilon \geq 1, 0 \text{ при } \varepsilon \leq 0. \end{cases} \quad (26)$$

для вибухових пристроїв з дистанційним детонатором.

Аналогічно цій методиці запишемо вираз для щільності розподілу випадкових величин ξ і η двох подальших випадків



$$f_1(\xi) = \begin{cases} 0 & \text{при } \xi \leq \xi_{\min}, \\ \frac{Af_{\min}}{\sqrt{2\pi}\zeta_f\xi^2} \exp\left\{-\frac{\left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{cp}\right)^2}{2\zeta_f^2}\right\} & \text{при } \xi_{\min} < \xi < 1, \end{cases} \quad (27)$$

$$f_2(\eta) = \begin{cases} 0 & \text{при } \eta \leq 0, \\ \frac{\ln\eta}{4\lambda^2\zeta_r^2\eta} \exp\left\{-\frac{\ln^2\eta}{8\lambda^2\zeta_r^2}\right\} & \text{при } 0 < \eta < 1, \end{cases}$$

для вибухових пристроїв з контактним детонатором

$$f_3(\eta) = \begin{cases} 0 & \text{при } \eta \leq 0, \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}4\lambda^3\zeta_r^2} \times \frac{\ln^2\eta}{\eta} \exp\left(-\frac{\ln^2\eta}{8\lambda^2\zeta_r^2}\right) & \text{при } 0 < \eta < 1, \end{cases} \quad (28)$$

для вибухових пристроїв з дистанційним детонатором.

Беручи до уваги, (10), (14), (25), (26), (27), (28) можемо визначити ймовірність пробиття фрагментом вибухових пристроїв захисної перешкоди для перелічених вище випадків:

1. $f = const$, вибуховий пристрій з контактним детонатором

$$P_{np}(h_g) = 1 - \exp\left\{-\frac{(\ln h_o - \ln h_g)^2}{8\lambda^2\zeta_r^2}\right\}, \quad (29)$$

2. $f = const$ і вибуховий пристрій з дистанційним детонатором

$$P_{np}(h_g) = 2 \left[\Phi\left(\frac{\ln h_o - \ln h_g}{2\lambda\zeta_r}\right) - \varphi\left(\frac{\ln h_o - \ln h_g}{2\lambda\zeta_r}\right) \times \left(\frac{\ln h_o - \ln h_g}{2\lambda\zeta_r^2}\right) \right], \quad (30)$$

де

$$\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad \varphi(x) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{x^2}{2}}.$$

3. f - Випадкова величина, вибухового пристрою з контактним детонатором



$$f_{np} \left(\frac{h_g}{h_0} \right) = \begin{cases} 1 & \text{при } \frac{h_g}{h_0} \leq 0, \\ 1 - \frac{Af_{\min}}{\sqrt{2\pi}\zeta_f} \times \int_{\frac{f_{\min}}{f_{\max}}}^1 \frac{1}{\xi^2} \exp \left\{ -\frac{\left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{\min} \right)^2}{2\zeta_f^2} - \frac{\left(\ln \frac{h_g}{h_0} - \ln \xi \right)^2}{8\lambda^2 \zeta_r^2} \right\} dx & \\ \text{при } 0 < \frac{h_g}{h_0} \leq \frac{f_{\min}}{f_{\max}}, \\ \frac{\Phi \left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{cp} \right) - \Phi \left(\frac{f_{\min} - f_{cp}}{\zeta_f} \right)}{\Phi \left(\frac{f_{\max} - f_{cp}}{\zeta_f} \right) - \Phi \left(\frac{f_{\min} - f_{cp}}{\zeta_f} \right)} - \frac{Af_{\min}}{\sqrt{2\pi}\zeta_f} \times \\ \times \int_{\frac{h_g/h_0}{h_0}}^1 \frac{1}{\xi^2} \exp \left\{ -\frac{\left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{cp} \right)^2}{2\zeta_f^2} - \frac{\left(\ln \frac{h_g}{h_0} - \ln \xi \right)^2}{8\lambda^2 \zeta_r^2} \right\} dx & \text{при } \frac{f_{\min}}{f_{\max}} < \frac{h_g}{h_0} < 1, \\ 0 & \text{при } \frac{h_g}{h_0} \geq 1 \end{cases}, \quad (31)$$

4. *f* - випадкова величина, вибуховий пристрій з дистанційним детонатором



$$f_{np} \left(\frac{h_g}{h_0} \right) = \begin{cases} 1 \text{ при } \frac{h_g}{h_0} \leq 0, \\ \frac{Af_{\min}}{\pi\zeta_f} \times \int_{\frac{f_{\min}}{h_0}}^1 \frac{\ln\xi - \ln\frac{h_g}{h_0}}{2\lambda\zeta_f} \exp \left\{ -\frac{\left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{cp}\right)^2}{2\zeta_{f^2}} - \frac{\left(\ln\frac{h_g}{h_0} - \ln\xi\right)}{8\lambda^2\zeta_r^2} \right\} d\xi + \\ + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Af_{\min}}{\zeta_f} \int_{\frac{f_{\min}}{h_0}}^1 \frac{1}{\xi^2} \exp \left\{ -\frac{\left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{cp}\right)^2}{2\zeta_{f^2}} \right\} \Phi \left[\frac{\left(\ln\xi - \ln\frac{h_g}{h_0}\right)}{2\lambda\zeta_r} \right] d\xi \\ \text{при } 0 < \frac{h_g}{h_0} \leq \frac{f_{\min}}{f_{\max}}, \\ \frac{Af_{\min}}{\pi\zeta_f} \times \int_{\frac{h_g}{h_0}}^1 \frac{\ln\xi - \ln\frac{h_g}{h_0}}{2\lambda\zeta_2\xi^2} \exp \left\{ -\frac{\left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{cp}\right)^2}{2\zeta_{f^2}} - \frac{\left(\ln\frac{h_g}{h_0} - \ln\xi\right)^2}{8\lambda^2\zeta_r^2} \right\} d\xi + \\ + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Af_{\min}}{\zeta_f} \int_{\frac{h_g}{h_0}}^1 \frac{1}{\xi} \exp \left\{ -\frac{\left(\frac{f_{\min}}{\xi} - f_{cp}\right)^2}{2\zeta_{f^2}} \right\} \Phi \left[\frac{\left(\ln\xi - \ln\frac{h_g}{h_0}\right)}{2\lambda\zeta_r} \right] d\xi \\ \text{при } \frac{f_{\min}}{f_{\max}} < \frac{h_g}{h_0} \leq 1. \end{cases} ,$$

(32)

Вирази (29), (30), (31) і (32) служать аналітичними виразами для обчислення ймовірності пробиття фрагментом різних типів вибухових пристроїв захисної перешкоди h_g . Проте вони порівняно складні для обчислення і тому зручніше користуватися графічними залежностями, побудованими за даними тих засобів ураження, які часто застосовуються для вогневого ураження елементів легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем. (Рисунок 2а, Рисунок 2б, Рисунок 2в, Рисунок 2г.)

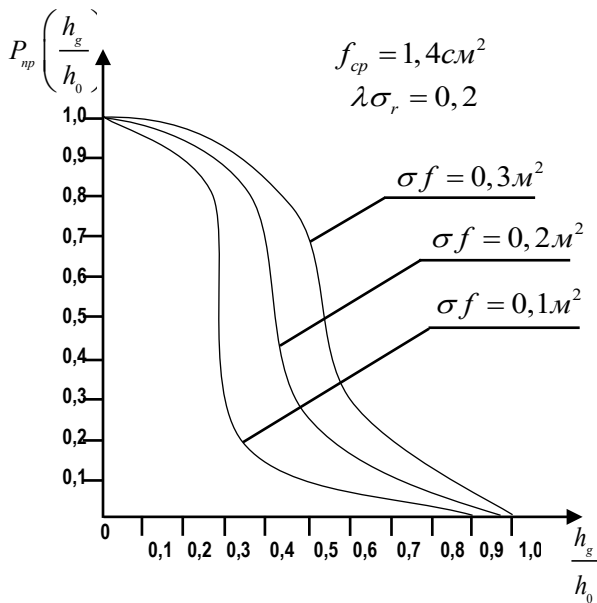


Рисунок 2а - Залежність

$P_{np} \left(\frac{h_g}{h_0} \right)$ для фрагмента

вибухового пристрою контактної дії з $f = const$ (випадок 1)

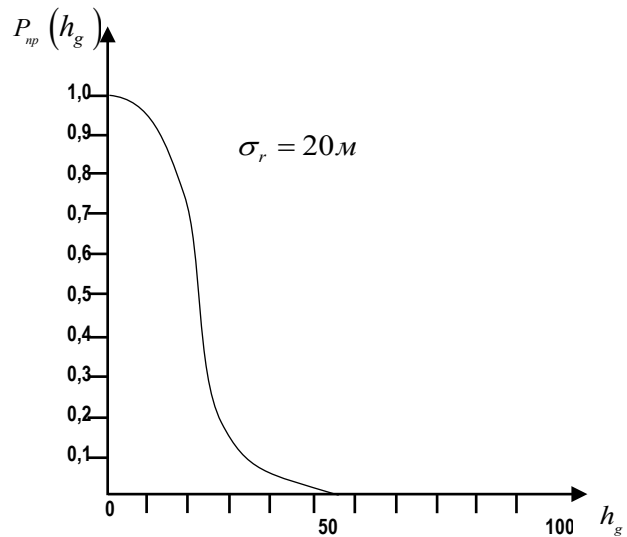


Рисунок 2б - Залежність

$P_{np} \left(\frac{h_g}{h_0} \right)$ для фрагмента вибухового

пристрою дистанційної дії з $f = const$ (випадок 2)

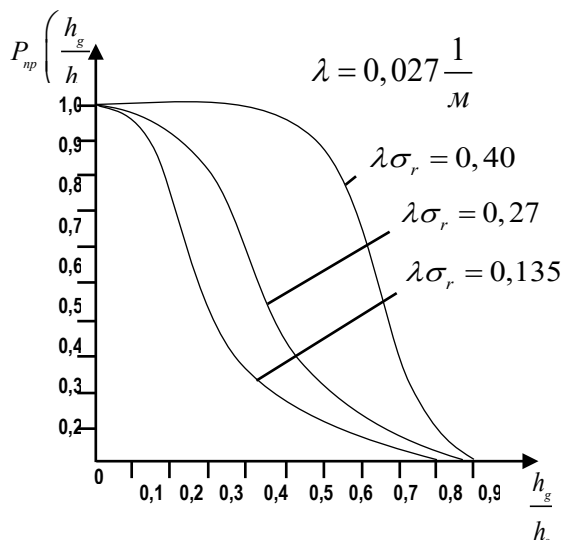


Рисунок 2в - Залежність

$P_{np} \left(\frac{h_g}{h} \right)$ для фрагмента

випадкової форми вибухового пристрою контактної дії з $f = const$ (випадок 3)

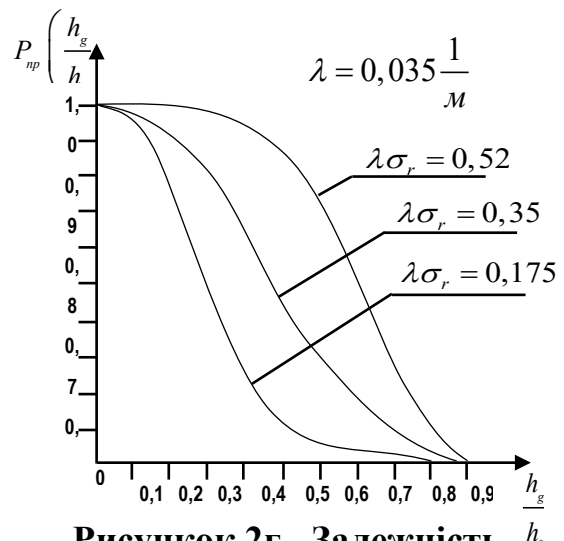


Рисунок 2г - Залежність

$P_{np} \left(\frac{h_g}{h} \right)$ для фрагмента

вибухового пристрою з зарядом вибухової речовини з убійними елементами спрямованої дії (випадок 4)

Висновки.

Таким чином, завдання визначення ймовірності пробиття фрагментом вибухових пристроїв захисної перешкоди зводиться спочатку до виміру і розрахунку товщини перешкоди, що знаходиться навколо елемента і що



представляє суму дюралевих еквівалентів, а потім до обчислення цієї ймовірності при виміряній товщині перешкоди по вказаним вище аналогічним виразам, або по графічним залежностям згідно Рисунків 2а, 2б, 2в, 2г. Розрахувавши ймовірність пробиття товщини елементів легкоброньованих зразків мобільної техніки та рухомих складних технічних систем, по усіх виділених за ознакою однакової ваги групах фрагментів вибухових пристроїв конкретного типу, можна визначити середнє число уражених деталей елемента, або вчислити таку характеристику його очікуваних пошкоджень як ймовірність ураження самого елемента.

Література:

1. Вентцель Е.С. Теорія ймовірностей / Вентцель Е.С. - М.: Наука, 1969. - 576 с.
2. Пащенко В.І., Бондар М.В., Бізер О.М., Сидоренко Ю.М. Кінематичні параметри осколкового поля пострілів ручних гранатометів // Артилерійське та стрілецьке озброєння. - 2011. - № 4. - С. 3-8. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій / Навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 379 с.
3. Кривцун, В., & Голушко, С. (2024). Методика розрахунку основних параметрів осколкових вибухових пристроїв направленої дії для ураження повітряних цілей типу бпла. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, (83), 35–46. <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2024/83-04>.
4. A. Koller, E. Pfrenger, K. Stierstadt; New Interpretation of the Rayleigh Law. J. Appl. Phys. 1 February 1968; 39 (2): 869–870. <https://doi.org/10.1063/1.2163653>.
5. Mitra, R., Lee, JF. (1991). Direct Maxwell's Equation Solvers in Time and Frequency Domains — A Review. In: Bertoni, H.L., Felsen, L.B. (eds) Directions in Electromagnetic Wave Modeling. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3677-6_18.
6. Wayne Isaac T. Uy, Mircea D. Grigoriu; Neural network representation of the probability density function of diffusion processes. Chaos 1 September 2020; 30 (9): 093118. <https://doi.org/10.1063/5.0010482>.
7. Літвінчук Р., Левченко А. Графо-аналітичний метод визначення ймовірності ураження елементів моторного та бойового відділення легко броньованої техніки загальновійськових підрозділів. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки №8 - 2021, Чернігів: ДНДІ ВС ОБТ, 2021. с. 63-71. <https://doi.org/10.37701/DNDIVSOVT.8.2021.07>
8. Літвінчук Р., Левченко А., Клименко В. Вплив вражаючої дії осколкових боєприпасів на елементи об'єктів і легко броньовану техніку підрозділів. Збірник наукових праць "Системи озброєння і військова техніка", Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, №3 (67) - 2021, Харків: ХНУПС, 2021. с. 19-23. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.67.02>
9. Засоби ураження та боєприпаси. Підручник/Під загальною редакцією В.В. Селіванова; - М.: Вид-во МДТУ ім. н.е. Баумана, 2008. - 984с.



10. Сидоренко Ю.М. Особливості процесу вибухового метання осколкоутворюючих дисків, що входять до складу осколково-пучкового снаряда // Зб. наук. праць Академії ВМС ім. П.С. Нахімова. — 2012. — Вип. 1(9). — С. 86—99.

11. Методичні основи системних досліджень та рішення проблем технічного оснащення збройних сил держави: монографія / під керів. Б.О.Демидова. — Кн.1. - К.: Вид. дім «Стилос», 2016. - 665с.

12. Методичні основи системних досліджень та рішення проблем технічного оснащення збройних сил держави: монографія / під керів. Б.О.Демидова. — Кн.2. - К.: Вид. дім «Стилос», 2016. - 640с.

13. Ткаченко А.А. Оцінка ефективності осколкового ураження одиночної цілі одним пострілом у випадку наземного підриву осколково-фугасного снаряду / В.І.Соловйов, А.Г.Павленко, С.А.Копашинський // Труді університету. —К.: НУОУ, 2016. —№3. —С. 200—209.

14. Сєдов С.Г. Аналіз та прогнози розвитку захисту легкоброньованих бойових машин від дії стрілецької зброї / Сєдов С.Г., Бублій В.А., Ревуцький А.А. // Труді університету. —К.: НУОУ, 2019. —№1. —С. 129—137.

15. IHS Jane's Weapons. Ammunition. 2015-2016. Leyland S Ness & Antony G Williams.

Abstract. Analysis of the conducted studies showed that the most likely damage to elements of lightly armored mobile equipment and mobile complex technical systems is fragments of explosive devices and combat units of strike drones.

Let us assume that hitting an element of lightly armored mobile equipment and mobile complex technical systems with a fragment of explosive devices is equivalent to its defeat. To defeat an element of lightly armored mobile equipment and mobile complex technical systems, a fragment of an explosive device must overcome a number of obstacles. The fragment spends energy to overcome these obstacles. Let us assume that if after that it has enough energy left to break the mechanical strength of the element, it will be able to penetrate it.

In general, the degree of mechanical impact of a fragment of explosive devices on elements of lightly armored mobile equipment and mobile complex technical systems is determined by the thickness of the obstacle that the fragment must overcome. Its thickness is determined by the trajectory of the fragment's flight, the design of the element of lightly armored samples of mobile equipment and mobile complex technical systems, the properties of the obstacle, the mass of the fragment and the speed of its flight at the moment of collision with the obstacle, i.e. the energy of the fragment.

The paper provides a calculation of the probability of penetration of the thickness of elements of lightly armored samples of mobile equipment and mobile complex technical systems. Using analytical expressions, it is possible to calculate the probability of penetration of the protective barrier by a fragment of various types of explosive devices. However, they are quite difficult to calculate, therefore, the paper proposes to use graphical dependencies constructed from the data of the means of destruction often used for fire damage to elements of samples of mobile equipment and mobile complex technical systems. The results of the study, highlighted in the paper, allow us to determine the average number of damaged parts of the element or calculate such a characteristic of its expected damage as the probability of damage to the sample of mobile equipment and mobile complex technical systems itself.

Key words: probability of defeat, modeling method, mathematical modeling, computer modeling, combat units of strike drones, decision support system, numerical values, computing systems, risk assessment, loss intensity.

Стаття відправлена: 19.12.2024 г.

© Літвінчук Р.В., © Левченко А.О.