Москалець С.В., Журний В.А., Рудик А.В., Артикула А.Г. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ ОСКОЛКОВО-ФУГАСНОЇ БОЙОВОЇ ЧАСТИНИ РАКЕТИ РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Розглянуто та проаналізовано вплив ефективності дії осколково-фугасної бойової частини ракети із урахуванням її характеристик та можливого відносного положення щодо цілі. Проведені розрахунки. Зроблений аналіз та висновки.

Ключові слова: бойова частина, ефективність, ракета, імовірність.

Постановка проблеми. Бойове спорядження озброєння характеризують групами технічних та експлуатаційних характеристик, кожен з яких відповідно поділяють на окремі показники. До таких відносять ефективність дії, діапазони використання, бойова спроможність, надійність, стійкість до впливу зовнішніх умов, безпеку експлуатації, технологічність, рівень стандартизації та уніфікації, інші. Ракета, як довільний об'єкт військової техніки має систему характеристик основних показників її можливостей. Поділ на характеристики достатньо умовний через те, що деякі одночасно можуть належати кільком групам.

Під ефективністю дії бойової частини (БЧ) ракети розуміють величину збитків, які зможе принести вибух в умовах бойового використання.

Ступінь пошкоджень під час дії на ціль вибуху є об'єм та тип робіт по відновленню. Таке визначення призводить до наступних трьох ступенів пошкоджень [1].

1. Малі пошкодження, які можуть бути відновлені діями екіпажу.

2. Вивід з ладу – необхідно залучати дії спеціалізованих ремонтних підрозділів на термін не менше доби.

3. Знешкодження цілі – потрібна лише евакуація.

На основі цих понять приймаються відповідні типи знешкоджень: С, В, А.

Ефективність залежить від:

- властивостей БЧ;
- характеристик цілі з урахуванням опору оболонки дії вибуху, взаємного розташування БЧ;
- швидкості та кута зустрічі із перешкодою в момент вибуху.

Визначення ефективності БЧ під час випробувань оцінюють комплексом характеристик, наприклад: імовірністю знешкодження, запалювальною дією, питомим імпульсом та надлишковим питомим тиском ударних хвиль та ін.

Результати дії вибуху по залізковій цілі оцінюють наступними методами: експериментально в умовах мішені, аналітично по побудованій математичній моделі, розрахунково-експериментальний метод, що враховує елементи методів, названих вище.

Використання того або іншого методу залежить від особливостей конструкції БЧ, характеру цілей та їх тактико-технічних характеристик (ТТХ), умов бойового використання.

Основними факторами ураження осколково-фугасної БЧ є ударна хвиля, яку характеризують питомим тиском на її фронті та питомим імпульсом, а також уламки, які рухаються з високою швидкістю. Крім того, слід врахувати потрапляння цих уламків у вразливі елементи цілі, їх запалювальну дію та можливу ініціацію вибуху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Подібну тематику розглянуто в роботах [1], [2] та матеріалах, викладених в мережі Інтернет [4], [5].

Актуальність дослідження. Метою роботи є оцінка ефективності бойової частини осколково-фугасної дії шляхом моделювання та аналізу дії вражаючих факторів.

Для досягнення мети використаний розрахунково-експериментальний метод. В якості вихідних даних слід приймати типові характеристики цілі та БЧ ракети, данні ГОСТів (В.25.798-83 та В.25.802-83 “Боеприпасы. Методы экспериментального определения характеристик та параметрів “уламковості й фугасності”) та інших джерел [1], [2], [3].

Основна частина. Для досягнення мети створений алгоритм, розроблена програма, проведені розрахунки та зроблені висновки.

Через незалежну вражаючу дію на ціль декількох факторів, їх сумарний вплив можна оцінити імовірністю враження:

$$P_{\text{сум}} = P_{\phi} + P_{\text{ул}}, \quad (1)$$

де імовірності відповідають діям: P_{ϕ} – фугасної, $P_{\text{ул}}$ – уламкової.

$$P_{\text{ул}} = \sum_i (P_{\text{ВЕ}}), \quad (2)$$

де $P_{\text{ВЕ}}$ – імовірність ураження вразливих елементів.

Розглянемо вплив на ефективність окремих факторів.

У якості вихідних даних розрахунків повинно бути заданим:

1) орієнтовна відстань R від місця вибуху до цілі із урахуванням напрямку підльоту ракети;

2) маса та склад бойової речовини та тієї, яка утворює основну частину уламків. Еквівалентну масу заряду вибухової речовини (ВР) $M_{\text{екв}}$ визначають:

$$M_{\text{екв}} = (M_3 + M_{\text{АО}}) \cdot K_{\eta},$$

де M_3 – маса заряду ВР; $M_{\text{АО}}$ – маса активної оболонки;

3) коефіцієнт K_{η} наповнення та складу ВР визначають

$$K_{\eta} = M_3 / M_{\text{заг}},$$

де $M_{\text{заг}}$ – загальна маса;

4) середнє число уламків, яке умовно поділяють на групи;

5) число вагових груп уламків (доцільно $j \leq 5$ не більше). Закон подрібнення оболонки на уламки, в свою чергу, призначають для трьох зон: передньої, середньої та хвостової;

6) середній напрямок потоку уламків та кути $\phi_{\text{Гі}}$, що прийняті границями між зонами кожної з груп;

7) кількість пробойн на одиниці площі мішені у функції відстані R . Ці данні отримують експериментально в умовах полігону;

8) початкові швидкості руху уламків у кожній зоні. Згідно закону збереження імпульсу руху до та після вибуху отримують:

$$V_R = \frac{\sum_j m_j \cdot V' \cdot \cos \phi'}{m_R}, \quad (3)$$

де $\phi_{\text{в}}$, $(\phi_{\text{н}})$ – значення кута між віссю ракети та траєкторією руху групи уламків,

V' , V_R – швидкості руху групи уламків та ракети.

Виконання рівняння (3) обумовлює переважний напрям розльоту уламків в бік руху ракети, крім того, повинні виконуватися наступні умови:

кут знаходиться в межах $\phi' = 0 \dots 2\pi$ із заданим законом розподілення;

загальна маса уламків $\sum_j m_j = m_R - (M_3 + M_{\text{АО}})$;

9) інтегральний закон розльоту уламків: задається у вигляді ламаної лінії, що складається з j відрізків:

$$F(\phi_i) = A_{\text{F}}^i + B_{\text{F}}^i \cdot \phi_i; \phi_j < \phi_i \leq \phi_{j+1}$$

де A_{F}^i , B_{F}^i – коефіцієнти кута розльоту уламків.

10) коефіцієнти балістики k_6 (або c_6) та опору форми уламка;

11) розміри цілі та міделева площа вразливих елементів.

Для оцінки фугасної дії на ціль, що розташована над рівнем землі на деякій висоті, її вважають ураженою за умови впливу ударної хвилі (УХ) більше від обумовлених значень. Дію УХ, що описують у функції відстані до цілі та маси ВР.

Руйнування оцінюють добутком надлишкового тиску та питомого імпульсу (рис.1) [2]:

$$K_p(R, M_3) = \Delta p(R, M_3) \cdot I_{\text{пит}}(R, M_3), \quad (4)$$

де K_p – деяка константа;

$\Delta p(R, M_3) = (\Delta p_{\text{ф}} - \Delta p_{\text{ф}}^*)$ – надлишковий тиск на фронті УХ, максимальне значення надлишкового тиску для різних вибухових речовин (ВР) визначають залежністю [3]:

$$\Delta p(R, M_3) = \sum_{i=1}^3 C_i \cdot \left(\frac{K_{\text{ВР}} \cdot M_3}{R}\right)^{\alpha_i},$$

де R – відстані від цілі до центру вибуху;

$K_{\text{ВР}}$ – тротиловий еквівалент ВР;

коефіцієнти: $C_1 = 0,95, C_2 = 3,9, C_3 = 13, \alpha_1 = 1/3, \alpha_2 = 2/3, \alpha_3 = 1$.

$$K_{\text{ВР}} = \begin{cases} 1 - \text{для тротилу} \\ Q_{\text{ВР}}/Q_{\text{Т}} - \text{інші ВР,} \end{cases}$$

де $Q_{\text{ВР}}, Q_{\text{Т}}$ – питомі кількості теплоти вибуху вибухової речовини (ВР) та тротилу.

Значення питомого імпульсу фази стиску ВР розраховують за виразом:

$$I_{\text{пит}} = A \cdot \frac{(M_{\text{екв}})^{\alpha}}{R}$$

де значення коефіцієнтів A, α залежать від складу ВР, ваги заряду, висоти підризу відстані R визначають в умовах полігону.

Критичні значення тиску на фронті УХ приймають у відповідності з вихідними даними, а наведені вище рівняння рішення сумісно.

Отже, імовірність ураження від фугасної дії заряду $P_{\text{ф}}$ визначають:

$$P_{\text{ф}} = \begin{cases} \frac{\Delta p(R)}{R}, & \text{за умови } \Delta p(R) > \Delta P_{\text{кр}}, \\ 1, & \text{за умови } R < R_{\text{кр}} \end{cases}, \quad (5)$$

де значення $R_{\text{кр}}$ критична відстань до цілі.

Характер значень пошкоджень залежить від значень надлишкового тиску, для випадку будівельних конструкцій наведений у таблиці 2 [1] та на рисунках 1 та 2.

Таблиця 1

Залежності типу руйнувань від значень надлишкового тиску

Зона руйнування	Значення надлишкового тиску Δp , кПа
Повне руйнування	Більше 50
Сильні руйнування	30-50
Середні руйнування	20-30
Приклади руйнування будівельних конструкцій	
Руйнування цегельних та блочних стін	30
Руйнування покриттів	15
Руйнування перегородок та віконних рам	12
Часткове руйнування остеклення	До 7

Рис.1. Залежність добутку K_p від відстані M_{BP} та маси заряду M_3

Рис.2. Зміна ймовірності враження цілі у функції відстані R до неї

Визначення ефективності знешкодження цілі від уламкової дії БЧ описують сукупністю положення розташованих j агрегатів, кожен з яких характеризують коефіцієнтом заповнення, кутом нахилу, типом втрат. Для порушення нормального функціонування цілі достатньо одного уламка, що здатний пробити обшивку агрегату.

Знешкодження цілі при попаданні у вразливі елементи відбувається за одночасного виконання декількох умов: влучення в дану область; долання оболонки та ще деяка додаткова (ініціація вибуху або запалювання).

Це можна описати добутком ймовірностей:

$$P_{yl} = P_{BЦ} \cdot P_{Пр} \cdot P_{IH(3)}, \quad (6)$$

де імовірності: $P_{BЦ}$ – влучення в ціль, $P_{Пр}$ – пробиття оболонки та $P_{IH(3)}$ – ініціювання або запалювання.

Однією з характеристик ефективності БЧ керованих ракет з відомою площею знешкодження (ПЗ) осколково-фугасної дії є приведена зона цілі, котру із урахуванням кута підльоту ϑ визначають за виразом:

$$S_{Ц} = \cos \vartheta \cdot \sum S_e,$$

де $S_{Ц}$ – приведена зона знешкодження;

Імовірність влучання дорівнює відношенню тілесних кутів:

$$P_{BЦ} = \frac{\phi_{Ц}}{\phi_{М}}, \quad (7)$$

де тілесні кути визначають за подібними залежностями:

$$\phi_{\text{ц}} \cong \frac{S_{\text{ц}}}{R_{\text{ц}}} \text{ та } \phi_{\text{м}} \cong \frac{S_{\text{м}}}{R_{\text{м}} \cdot N}.$$

Влучення в мішень оцінюють за кількістю пробойн N в мішені, розташованій на відстані $R_{\text{м}}$ для всієї площі.

Отже $P_{\text{вц}} = \frac{\phi_{\text{ц}}}{\phi_{\text{м}}} = \frac{S_{\text{ц}}}{S_{\text{м}}} \cdot \frac{R_{\text{м}}}{R_{\text{ц}}} \cdot N$, а імовірність влучання визначають:

$$P_{\text{вц}} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \frac{\phi_{\text{ц}}}{\phi_{\text{м}}} > 1 \\ \frac{\phi_{\text{ц}}}{\phi_{\text{м}}} \end{cases}. \quad (8)$$

Конфігурація, розміри зон та положення цілі визначаються товщиною корпусу оболонки, наявністю слабких агрегатів, розташуванням та ін.

Механічну дію уламків характеризують граничною товщиною пробиття оболонки та визначають за виразом:

$$h_{\text{гр}} = C \cdot \frac{q_0^{0.33} \cdot \gamma_0^{0.67}}{g \cdot k_{\text{фр}}(V_c) \cdot k_{\text{м}}} \cdot \left(\frac{V_c}{\alpha + \beta \cdot V_c} \right)^2 \cdot k_{\alpha}, \quad (9)$$

де q_0 – маса уламка, кг;

$\gamma_0 = 7,8 \cdot 10^3$ – густина матеріалу, кг/м³;

V_c – швидкість враження цілі, м/с;

$g = 9.81$ – прискорення вільного падіння;

$k_{\text{фр}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив форми уламків та швидкості V_c їх зіткнення з оболонкою (рисунк 3);

$k_{\text{м}}, \alpha, \beta$ – визначені експериментально коефіцієнти, що характеризують матеріал оболонки.

Рис.3. Залежність коефіцієнту форми уламка у функції швидкості руху

Врахування зниження ймовірності знешкодження при малих кутах зустрічі з ціллю здійснюють коефіцієнтами $k_{\alpha}, \alpha_1, \alpha_2$. Де найменше $\alpha_1 \approx 15^\circ$ та найбільше $\alpha_2 = 30^\circ$ значення кутів зустрічі з оболонкою залежить від матеріалу (рис.4):

$$K_{\alpha} = \begin{cases} 0, \text{ якщо } \alpha < \alpha_1 \\ \frac{\alpha - \alpha_1}{2(\alpha_2 - \alpha)}, \text{ якщо } \alpha_1 < \alpha < \alpha_2. \\ 1, \text{ якщо } \alpha > \alpha_2 \end{cases} \quad (10)$$

Рис.4. Залежність коефіцієнту K_α кута зустрічі з перешкодою

Ймовірність знешкодження вразливої площі цілі пробивною дією уламка визначають:

$$P_{\Pi p} = \begin{cases} 1, & \text{при } h_{\text{гр}} > h_{\text{ек}} \\ 0, & \text{при } h_{\text{гр}} < h_{\text{ек}} \end{cases} \quad (11)$$

де $h_{\text{ек}}$ – товщина еквівалентної перешкоди, та по усіх j елементах.

Запалювальну дію уламків оцінюють по влученню в бак та пробиттю його стінки або згідно ймовірності за залежністю:

$$P_B = \begin{cases} 0 & \text{за умови } \chi < 1400 \\ \frac{\chi - 1400}{1100} & \text{за умови } 1400 < \chi < 2500, \\ 1 & \text{за умови } \chi > 2500 \end{cases} \quad (12)$$

або $P_B(\chi) = \Phi(\chi - 1400) \frac{\chi - 1400}{1100} + \Phi(2500 - \chi)$

При їх невиконанні, приймають 0 та 1 відповідно.

Значення критичної швидкості χ визначають згідно:

$$\chi = V_c \cdot \sqrt{\bar{S}_0}, \quad (13)$$

де середній мідель уламка $\bar{S}_0 = k_\phi \cdot \left(\frac{q_0}{\gamma_0}\right)^{2/3}$.

При потраплянні уламка у пароповітряну фазу $P_{\text{виб}} \approx P_B$.

Вказані залежності (11-13) вірні за умови $q_0 = (2 \div 30) \cdot 10^{-3}$ кг; $k_\phi = 1,21 - 2$ та $V_c = 800 \div 3000$.

Ймовірність $P_{\text{ин}}$ ініціювання зарядів ВР при потраплянні одиночного сталевого уламка приймають рівною:

$$P_{\text{ин}} = \frac{V_c - (V_{0,5} - \Delta V)}{2\Delta V} \text{ за умов } V_{0,5} - \Delta V < V_c < V_{0,5} + \Delta V. \quad (14)$$

Для нижнього та верхнього діапазонів ймовірність ініціювання $P_{\text{ин}}$ приймають відповідно рівною 0 та 1 (рис.5).

Рис.5. Залежність ймовірності ініціювання P_{in}

Тут швидкість $V_{0,5}$, при якій відбувається ініціювання зарядів ВР з імовірністю $P_{in}=0,5$

$$V_{0,5} = V_r \cdot \left(e^{-0,19\lambda} + 0,19\lambda^{\frac{3}{4}} \right) - \frac{1}{k'_\alpha}, \quad (15)$$

а втрату швидкості визначають $\Delta V = K_\Delta \cdot V_{0,5}$; $V_r = \frac{2550}{k_\phi^{1/2} \cdot q_0^{\frac{2}{9}}}$; $\lambda = \frac{h_{ек}^{дюр} \cdot k_\phi}{q_0^{\frac{1}{3}}}$,

де V_r – швидкість уламка, що забезпечує ініціювання “голого” заряду з $P_{in} \approx 1$;

$h_{ек}^{дюр}$ – дюралевий еквівалент сумарної товщини оболонки заряду та екрана (для сталевих $h_{ек}^{дюр} = 2$);

$k'_\alpha = \sin^{2/3} \alpha$ – коефіцієнт, що враховує вплив кута наближення α уламка до оболонки за умови $10 < \alpha < 90$.

Наведені вирази (1-15) вважають вірними за умов: вибухова речовина ТГ-40/60 або ТГ-30/70; $q_0 = (2 \div 30) \cdot 10^{-3}$ кг; $k_\phi = 1,21 - 2$ та $V_c = 800 \div 3000$.

Висновки.

Аналіз дії вражаючих факторів можна здійснити розрахунково-аналітичним методом та подальшим моделюванням їх дії.

Ефективність дії бойової частини оцінена імовірністю ураження цілі. Найбільш раціонально здійснювати це шляхом зменшення відстані до вибуху за рахунок підвищення точності. Іншими шляхами є підвищення потужності, або конструктивно – кількістю уламків. Це збільшує імовірність дії усіх вражаючих факторів. Саме тому світовою тенденцією є розвиток високоточної зброї.

Необхідно вказувати експериментальні дані по кількості пробойн одиниці площі для заданої відстані та характеристики бойової частини ракети.

Імовірність оцінки дії уламків потребує уточнення характеристик бойової частини, характеристик положення вразливих місць цілі та кута підльоту ракети.

Доцільно траєкторію підльоту ракети виконати керованою із урахуванням модульності компоновки ракети. Це зменшує витрату боєприпасів та підвищує ефективність БЧ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Козир А.Г. Аналіз факторів, що визначають пріоритетність обрання наземних цілей під час антитерористичної операції / А.Г. Козир, Д.В. Башинський // Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ. – Чернігів : ФОП Брагинець О.В., 2019. – Вип. № 1. – С.87-92.
2. Брайко В.В., Особливості функціонування та розробки термобаричних боеприпасів / В.В. Брайко, О.І. Сподін, В.І. Склар, Ю.О. Камак, В.І. Нінітченко // Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ. – Чернігів : ФОП Брагинець О.В., 2019. – Вип. № 2. – С.41-46.
3. Бабкин А.В. Средства поражения и боеприпасы. / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, В.Ф. Грязнов и др. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2008. – 904 с.
4. Расчет характеристик взрыва. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://koi.tsru.ru/koi_books/arhipov1/ch7r3.htm
5. Взрыв: действия ударной волны и поражающие факторы. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/vzryiv-deistviya-ygroza-i-poragaushie-faktori/>

Москалец Сергій Васильович

начальник науково-дослідного управління
Державного науково-дослідного інституту
випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5996-6422>
+380(93)-600-25-13

Жирний Володимир Анатолійович

начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту
випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1882-3008>
+38093-782-85-28

Рудик Андрій Васильович

кандидат технічних наук, провідний
науковий співробітник Державного
науково-дослідного інституту випробувань
і сертифікації озброєння та військової
техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3582-9279>
+380(98)-537-23-05

Артикула Андрій Геннадійович

старший науковий співробітник Державного
науково-дослідного інституту випробувань
і сертифікації озброєння та військової
техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6524-1578>
+38097-288-06-63

Sergii Moskalets

Chief of Department of State Scientific
Research Institute of Armament and Military
Equipment Testing and Certification,
Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5996-6422>
+380(93)-600-25-13

Volodymyr Zhyrnyi

Chief of Section of State Scientific Research
Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1882-3008>
+38093-782-85-28

Andrei Rudik

Candidate of Technical Sciences, Lead
Researcher of State Scientific Research
Institute of Armament and Military
Equipment Testing and Certification,
Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3582-9279>
+380(98)-537-23-05

Andrei Artikula

Senior Researcher of State Scientific
Research Institute of Armament and
Military Equipment Testing and
Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6524-1578>
+38097-288-06-63

**METHOD OF DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF A MISSILE'S BLAST-FRAGMENTATION
WARHEAD BY USE OF COMPUTATIONAL METHOD AND EXPERIMENT**

S. Moskalets, V. Zhyrnyi, A. Rudyk, A. Artikula

Armaments are characterized by groups of technical and operational characteristics, each of which is divided into separate indicators. These include effectiveness, ranges of use; combat capability, reliability, operational safety. Under the effectiveness of the missile's warhead it shall be understood the amount of damage that can cause an explosion in combat environment.

The aim of the work is to evaluate the effectiveness of the blast-fragmentation warhead by modeling and analyzing the damaging of injurious effects.

Primary blast-fragmentation warhead effects are a shock wave, which is characterized by a specific air pressure on its front and a specific impulse, as well as fragments that move at high speed.

Determining the effectiveness of target neutralization by the fragmentation effect of the warhead is described by a set of positions of the j units, each of which is characterized by the fractional volume, the angle of inclination, the type of losses.

Due to the independent impact on the target of several effects, their whole impact can be estimated by the total probability of individual injurious effects.

The effectiveness of warhead is assessed by the probability of hitting the target. It is most rational to achieve the goal by reducing the distance to the explosion while increasing accuracy. This is a global development trend.

Other ways are either to increase its explosive power or structurally - the number of fragments.

It is necessary to indicate experimental data on the number of holes per unit area for a given distance and characteristics of the warhead of the missile.

Assessing the probability of the debris impact requires clarification of the characteristics of the warhead, the characteristics of the vulnerable spots of the target and the angle of the missile approach.

It is advisable to make the trajectory of the missile approach guided, taking into account the modularity of the configuration. This reduces ammunition consumption and increases the efficiency of the warhead.

Keywords: warhead, effectiveness, missile, probability.