

О.О. Журавльов¹, Р.В. Мурай², Н.В. Шигімага¹, О.Ю. Дроль¹

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

²Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми

МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ МІНІМАЛЬНОЇ ВИТРАТИ РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ ДЛЯ УРАЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ЗАДАНИМ РІВНЕМ ЗБИТКУ

В статті розглянуто методику аналітичного визначення потрібної мінімальної витрати реактивних снарядів (РС) великого калібру з касетними бойовими частинами (КБЧ), що оснащені осколково-фугасними (ОФ) бойовими елементами (БЕ). Предметом дослідження є процес розрахунків потрібної мінімальної витрати РС. Об'єктом дослідження є процес аналітичної оцінки приведеної площі ураження, що формуються при розриві ОФ БЕ, що влучають в позицію групового об'єкта ураження при стрільбі на задану дальність. На основі розглянутої методики проведений розрахунок потрібної мінімальної витрати РС з КБЧ для подавлення (знищення) розрахункового групового об'єкту для опорних значень дальності стрільби. Проведена поліноміальна інтерполяція отриманих даних для визначення потрібної мінімальної витрати РС для стрільби на будь-яку дальність заданого діапазону. Проведена оцінка ступеню впливу похибок повної підготовки даних на потрібну витрату РС з КБЧ.

Ключові слова: реактивний снаряд, касетна бойова частина, осколково-фугасний бойовий елемент, потрібна витрата реактивних снарядів, приведена площа області осколкового ураження.

Вступ

Постановка проблеми. Одним з показників бойової ефективності підрозділів, що оснащені комплексами реактивних систем залпового вогню (РСЗВ) є кількість реактивних снарядів (РС) з певним типом бойових частини (БЧ), що потрібні для нанесення встановленого рівня збитку площинному або груповому об'єкту ураження [1–2; 4].

При виконання підрозділами РСЗВ бойових завдань з вогневого ураження об'єктів для нанесення заданого рівня збитку призначається наряд реактивних снарядів на основі таблиць, що містять “норми розходу РС”, що визначаються на основі аналітичних розрахунків з подальшим їх уточненням за результатами бойових стрільб по заліковим об'єктам ураження на полігонах та при виконанні бойових завдань [4].

Норми розходу визначені для вже існуючих реактивних снарядів з урахуванням типу об'єкту ураження, площі займаної позиції, ступеню укритості та інженерного обладнання позиції, потрібного ступеню ураження, дальності стрільби.

При створенні нових боєприпасів або при появі нових типів об'єктів виникає завдання визначення потрібної кількості реактивних снарядів для їх надійного ураження.

Таким чином, уточнення методу аналітичного розрахунку потрібної кількості реактивних снарядів для надійного ураження типових об'єктів є актуаль-

ним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1–10] показав, що на даний час при розрахунках потрібного наряду РС з касетною бойовою частиною (КБЧ), що оснащені осколково-фугасними (ОФ) бойовими елементами (БЕ), для визначення приведеної площі ураження КБЧ використовують метод еквівалентної моноблочної БЧ та номограми для оцінки ступеню перекриття областей ураження ОФ БЕ. Також, використовують таблиці.

Метою статті є розгляд особливостей методики аналітичного визначення потрібної мінімальної витрати РС з КБЧ, що оснащені осколково-фугасними бойовими елементами, для ураження розрахункових об'єктів із заданим рівнем збитку.

Виклад основного матеріалу

Схема ураження елементарних об'єктів (ЕО), що складають груповий об'єкт, реактивних систем залпового вогню, що оснащені КБЧ з осколково-фугасними бойовими елементами, наведена на рис. 1, елементарний об'єкт буде уражений, якщо він накритий областю розсіювання ОФ БЕ та областями їх приведених зон ураження. На рис. 1 видно, що область S_p розсіювання точок падіння осколково-фугасних бойових елементів частково накриває позицію групового об'єкту, що описана прямокутником. Область накриття – S_{II} .

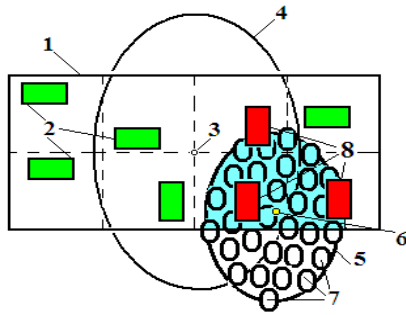


Рис. 1. Схема ураження ЕО групового об'єкту РС, що оснащений КБЧ з ОФ БЕ:

- 1 – позиція групового об'єкта, що описана прямокутником; 2 – ЕО, що входять до складу групового; 3 – точка прицілювання; 4 – еліпс розсіювання центрів областей групування точок падіння БЕ; 5 – область групування точок падіння БЕ; 6 – центр області групування точок падіння БЕ; 7 – приведена зона ураження одного ОФ БЕ; 8 – ЕО, що уражаються

Мінімальну витрату РС, що оснащені КБЧ з ОФ БЕ, для нанесення порівняно невеликому груповому об'єкту заданого рівня середнього збитку пропонується розраховувати за формулою:

$$n = \frac{k E'_x E'_y}{\tau S_\Sigma}, \quad (1)$$

де E'_x, E'_y – серединні похибки, що повторюються, центрів групування проекцій точок розкриття КБЧ (що знаходяться на деякій висоті) на поверхню, з урахуванням геометричних розмірів прямокутника, що описує площу розташування об'єкта ураження;

S_Σ – сумарна площа наведених зон ураження деякої кількості ОФ БЕ одного РС, що влучили на позицію заданого групового об'єкта ураження;

k – коефіцієнт, значення якого залежить від заданого значення M_u^* потрібної величини середньої відносної площі, що уражається;

τ – поправочний коефіцієнт на наведені розміри прямокутного об'єкта ураження.

Запропонована формула подібна формулі [14]:

$$n = r \frac{E_{\partial 0} E_{H_0}}{S_n},$$

що використовується в артилерії для аналітичних розрахунків потрібної витрати снарядів, в якій замість параметру S_Σ використовується параметр S_n приведена площа ураження одного снаряду.

Таким чином, відмінністю формули (1) від відомої формули є інтерпретація та спосіб визначення значення параметра S_Σ .

Значення серединних похибок E'_x і E'_y обчислюються за формулами: $E'_x = E_{x1} \sqrt{1 + 0,15 F_x^2}$;

$$E'_y = E_{y1} \sqrt{1 + 0,15 F_y^2}; F_x = \frac{L_x}{E_{x1}}, F_y = \frac{L_y}{E_{y1}} \quad (2)$$

де E_{x1}, E_{y1} – серединні похибки підготовки даних по дальності та в бічному напрямку відповідно, що характеризують точність залпової стрільби;

$2L_x, 2L_y$ – наведені розміри прямокутника, що описує позицію групового об'єкта, за дальністю і напрямком відповідно.

При залповій стрільбі однією бойовою машиною РСЗВ по груповому об'єкту, що не спостерігається, система похибок складається з двох груп: похибок підготовки даних E_{x1}, E_{y1} та технічного розсіювання центрів групування проекцій точок розкриття КБЧ на поверхню B_∂, B_δ . Тому, значення серединних похибок E_x, E_y визначають формули:

$$E_x = \sqrt{E_{x1}^2 + B_\partial^2}, E_y = \sqrt{E_{y1}^2 + B_\delta^2}, \quad (3)$$

де E_x, E_y – серединні похибки центрів групування проекцій точок розкриття КБЧ на поверхню за дальністю і напрямком відповідно;

B_∂, B_δ – серединні відхилення по дальності та в бічному напрямку відповідно – показники технічного розсіювання центрів групування проекцій точок розкриття КБЧ на поверхню, що характеризують кучність залпової стрільби.

Значення коефіцієнта k обчислюється при вирішенні рівняння [2; 4]:

$$1 - \left(1 + \rho \sqrt{\frac{2}{\pi}} k\right) \exp\left(-\rho \sqrt{\frac{2}{\pi}} k\right) = M_u^*, \quad (4)$$

$$\rho = 0,47694.$$

Якщо величина M_u^* задана в межах 0,05 - 0,95, то значення k можливо знаходити за наближеною формулою:

$$k \approx \frac{21 M_u^*}{1 - 0,9 M_u^*}. \quad (5)$$

Значення потрібної величини M_u^* середньої відносної площі, що уражається, при подавленні живої сили та вогневих засобів приймають 0,3 а при їх знищенні – 0,5 [15]. Розраховані за формулою (4) значення коефіцієнта k при деяких заданих рівнях M_u^* наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Розраховані значення коефіцієнта k

M_u^*	0,3	0,5	0,8
k	8,3	19,6	62

Значення поправочного коефіцієнта τ обчислюється за формулою: $\hat{\Phi}$

$$\tau = -\frac{B_0 B_6}{4l_x l_y} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \ln \left\{ 1 - \frac{1}{4} [\hat{\Phi}(u + f_x) - \hat{\Phi}(u - f_x)] \times \right. \\ \left. \times [\hat{\Phi}(v + f_y) - \hat{\Phi}(v - f_y)] \right\} du dv; \quad (6)$$

$$\hat{\Phi}(x) = \frac{2\rho}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-\rho^2 t^2) dt, \quad (7)$$

де $\frac{2\rho}{\sqrt{\pi}} = 0,53816$, $\tau(f_x, f_y) \in [1, 0; 2, 13]$.

Значення параметрів f_x, f_y розраховуються за формулами:

$$f_x = \frac{l_x}{B_0}, \quad f_y = \frac{l_y}{B_6}. \quad (8)$$

Якщо розміри групового об'єкта ураження порівняно великі ($2L_x > 15E_x$, $2L_y > 15E_y$), то витрата РС для нанесення об'єкту заданого рівня середнього збитку дорівнює [2]; [4]:

$$n = -\frac{\ln(1 - M_u^*)}{\tau} \frac{4L'_x L'_y}{S_{\Sigma}}; \quad (9)$$

$$L'_x = \sqrt{L_x^2 + 6,6 E_x^2}, \quad L'_y = \sqrt{L_y^2 + 6,6 E_y^2}, \quad (10)$$

де L'_x, L'_y – половини розмірів групового об'єкта з урахуванням серединних помилок, що повторюються.

При визначенні потрібної витрати РС значення вихідних даних:

L_x, L_y – визначаються геометричними розмірами позиції, що займає груповий об'єкт ураження;

B_0, B_6 – наведені, як правило, в таблицях стрільби визначених РС;

E_{x1}, E_{y1} – визначаються способом підготовки даних на пуск;

S_{Σ} – визначається середньою кількістю ОФ БЕ n_{BE} , що влучають на позицію групового об'єкту, стійкістю ЕО до дії вражаючих факторів ОФ БЕ, а також ступенем укритості ЕО.

Значення S_{Σ} оцінюється за формулою:

$$S_{\Sigma} = \varepsilon n_{BE} S_{n1}; \quad (11)$$

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, & k_S \geq 1, \\ k_S, & k_S < 1, \end{cases}; \quad (12)$$

$$k_S = \frac{S_p(D)}{N_{BE} S_{n1}(D, \eta)}; \quad N_{BE}^{-1} < \varepsilon \leq 1,$$

де S_{n1} – приведена площа ураження, що формується при розриві одного ОФ БЕ;

$S_p(D)$ – площа області групування точок падіння ОФ БЕ;

N_{BE} – кількість ОФ БЕ в КБЧ;

ε – коефіцієнт, що враховує ступінь перекриття приведених областей ураження, що створюються сусідніми ОФ БЕ.

Методика визначення значення площі $S_p(D)$

з урахуванням висоти, швидкості та кута нахилу вектора швидкості центра мас КБЧ в момент її розкриття наведена в [11].

Зазначимо, що ОФ БЕ має наступні уражаючі властивості: кінетична, фугасна та осколкова дії.

Кінетична дія проявляється при прямому влученні ОФ БЕ зі швидкістю $\approx 70 \dots 100$ м/с в ЕО.

Радіус фугасної дії ОФ БЕ, в залежності від стійкості ЕО до фугасної дії, складає ≈ 2 м.

Дальність польоту убійних вражаючих елементів (ВЕ), що утворюються при розриві ОФ БЕ, в залежності від стійкості ЕО до осколкової дії, може досягати ≈ 100 метрів.

Тому, значення площі S_{n1} необхідно оцінювати по площі $S_{oy1}(D, \eta)$ області осколкового ураження, що створюється одним ОФ БЕ, де D – дальність стрільби; η – вектор характеристик уразливості заданого ЕО. Методика визначення значення $S_{oy1}(D, \eta)$ з урахуванням кута підльоту ОФ БЕ до поверхні та висоти розташування уразливої частини ЕО відносно потоку ВЕ наведена в [12–13].

Для визначення значення n_{BE} середньої кількості ОФ БЕ, що влучають в позицію групового об'єкта, необхідно оцінити значення S_{Π} середньої площі перекриття областю розсіювання точок падіння ОФ БЕ позиції групового об'єкта, а також значення середньої щільності розподілу точок падіння ОФ БЕ по площі $S_p(D)$ області їх групування.

Значення середньої кількості ОФ БЕ n_{BE} , що влучають в позицію групового об'єкта, (при гіпотезі, що система розведення БЕ після розкриття КБЧ забезпечує рівномірне їх розсіювання) оцінюється за формулою:

$$n_{BE} = S_{\Pi} \frac{N_{BE}}{S_p(D)}. \quad (12)$$

Якщо представити площу $S_p(D)$ у вигляді прямокутника з розмірами $2l_x, 2l_y$, то значення середньої відносної площі M_u перекриття прямокутного об'єкту (при зміщеній щодо центру точки розкриття КБЧ) дорівнює [2; 4]:

$$M_u = M_{u,x} M_{u,y}, \quad (13)$$

де для напрямків $q := (x, y)$:

$$M_{u,q} = \frac{E_q}{4 L_q} \left\{ A_{1q} \hat{\Phi}(A_{1q}) - A_{2q} \hat{\Phi}(A_{2q}) \right\} +$$

$$\begin{aligned}
& +\rho^{-2} \left[\hat{\phi}(A_{1q}) - \hat{\phi}(A_{2q}) \right] + \\
& + A_{3q} \hat{\phi}(A_{3q}) - A_{4q} \hat{\phi}(A_{4q}) + \\
& +\rho^{-2} \left[\hat{\phi}(A_{3q}) - \hat{\phi}(A_{4q}) \right] \}, \quad (14)
\end{aligned}$$

де $A_{1q} = \frac{L_q - a_q + l_q}{E_q}$, $A_{2q} = \frac{L_q + a_q - l_q}{E_q}$,

$$A_{3q} = \frac{L_q + a_q + l_q}{E_q}, \quad A_{4q} = \frac{L_q - a_q - l_q}{E_q},$$

$a_q := (a_x, a_y)$ – координати точки прицілювання в цільовій системі координат;

$$l_q := (l_x, l_y).$$

Абсолютне значення площі S_{II} розраховується за формулою:

$$S_{II} = M_u S_p(D). \quad (15)$$

За наведеною методикою проведений розрахунок значення n потрібної мінімальної кількості РС, що оснащені КБЧ з ОФ БЕ, для ураження гіпотетичного розрахункового групового об'єкту з наступними основними характеристиками: 8 неброньованих транспортних машин з КУНГами, що розташовані відкрито на позиції. Площа позиції описується прямокутником з геометричними розмірами 100 м × 150 м на відстані (20-70) км від точки пуску. Точка прицілювання обирається у геометричному центрі прямокутника.

Умова ураження групового об'єкту – уразити не менш 0,3 (подавлення) та 0,5 (знищення) відносної кількості ЕО з імовірністю не менш ніж 0,8.

Умова ураження ЕО – в його уразливу частину повинно влучити не менш ніж 1 убійний ВЕ.

Будемо вважати, що ЕО рівномірно розподілені на площі позиції, а система розведення ОФ БЕ при розкритті КБЧ забезпечує їх рівномірне розсіювання по площі.

Відомо, що значення похибок E_{x1}, E_{y1} підготовки даних на пуск залежить від способу їх підготовки. Найменші значення цих похибок забезпечує спосіб повної підготовки даних на пуск (ППДП). Для визначення ступеню впливу точності підготовки даних на пуск на розрахункове значення потрібної мінімальної витрати РС проведемо оцінку значень серединних похибок E_x, E_y з врахуванням оцінки похибок ППДП, в залежності від дальності стрільби та у випадку при $E_{x1} = 0, E_{y1} = 0$ (табл. 2).

На основі методик [11] проведено оцінку значень $S_p(D)$ площі області розсіювання точок падіння ОФ БЕ, кутів підльоту ОФБЕ до поверхні та S_{nl} наведеної площі осколкового ураження одного ОФБЕ в залежності від дальності стрільби (табл. 3).

Таблиця 2

Показники розсіювання координат центрів групування точок падіння ОФБЕ

Д, км	З урахуванням похибок ППДП		при $E_{x1} = 0, E_{y1} = 0$	
	$E_x, м$	$E_y, м$	$E_x, м$	$E_y, м$
20	120	110	110	100
30	180	130	170	120
40	220	150	200	140
50	230	170	220	160
60	240	200	230	190
70	250	230	230	220

Таблиця 3

Вихідні дані

Д, км	Кут падіння ОФБЕ, град	Площа обл. розсіювання ОФ БЕ, м ²	Приведена площа осколкового ураження ОФ БЕ, м ²
20	79,7	53 900	2 693
30	81,2	92 300	2 834
40	80,7	93 400	2 785
50	80,7	101 400	2 785
60	82,9	60 200	3 012
70	84,8	32 500	3 238

За формулою (15) проведений розрахунок значень S_{II} площі області накриття позиційного району областю $S_p(D)$ розсіювання точок падіння ОФ БЕ (табл. 4) в залежності від дальності стрільби з врахуванням похибок ППДП та при $E_{x1} = 0, E_{y1} = 0$.

Таблиця 4

Розрахункова площа області накриття позиційного району областю розсіювання точок падіння ОФБЕ

Д, км	З врахуванням похибок ППДП, м ²	При $E_{x1} = 0, E_{y1} = 0, м^2$
20	3 700	4 000
30	3 700	4 000
40	2 800	3 100
50	2 500	2 800
60	1 300	1 500
70	600	700

За формулою (1) проведений розрахунок потрібної кількості РС для ураження 0,3 і 0,5 відносної кількості ЕО групового об'єкту з імовірністю 0,8 в залежності від дальності стрільби з врахуванням похибок ППДП та при $E_{x1} = 0, E_{y1} = 0$ (табл. 5).

Для визначення потрібної кількості РС для ураження заданої відносної кількості ЕО групового об'єкту для любого значення дальності проводиться інтерполяція наведених в табл. 5 даних поліномом 3-го ступеня – на дальності в діапазоні 20..50 км

(рис. 2, а). поліномом 2-го ступеня – на дальності в діапазоні 50..70 км (рис. 2, б).

Таблиця 5

D, км	Потрібна кількість РС з КБЧ		При $E_{x1} = 0, E_{y1} = 0$	
	З урахуванням похибок ППДП			
	0,3	0,5	0,3	0,5
20	19	42	18	39
30	33	73	29	61
40	60	134	50	105
50	88	195	69	145
60	211	416	159	336
70	539	1193	390	823

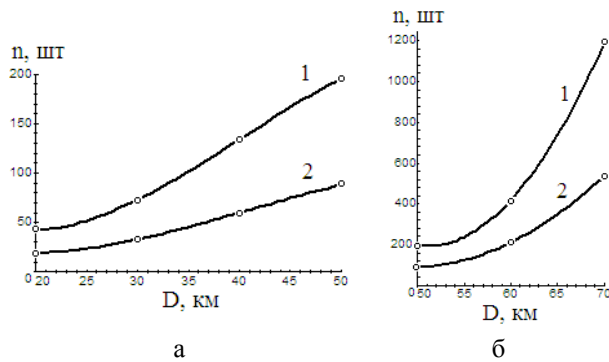


Рис. 2. Залежність n потрібної витрати РС, що оснащені КБЧ з ОФ БЕ від D дальності стрільби для ураження заданої відносної кількості ЕО розрахункового групового об'єкту: 1 – 0,5; 3 – 0,3

Результати розрахунків дозволяють зробити наступні висновки:

- зі збільшенням дальності стрільби по заданому груповому об'єкту потрібна кількість РС зростає. Характер зростання може бути описаний інтерполяційним поліномом 3-го або 2-го ступеню в залежності від діапазону дальності стрільби;
- зі збільшенням величини заданої відносної кількості уражених ЕО потрібна кількість РС з КБЧ також зростає;
- з дальності ≈ 55 км спостерігається значне зростання потрібної кількості РС;
- ураження групового об'єкту, що розташований на дальності більш 30 км, потребує залучення до виконання розглянутого бойового завдання більшу кількість РС, тому доцільно уражати на відстанях більш ніж 30 км тільки особливо важливі пер-

шочергові групові об'єкти.

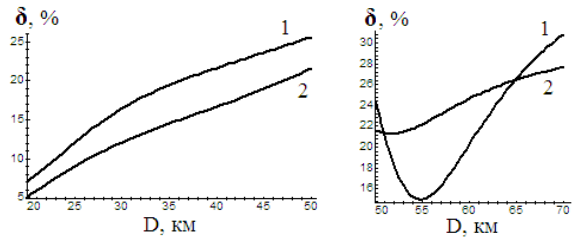


Рис. 3. Залежність відносної похибки розрахунку потрібної кількості РС від дальності стрільби

Проведені розрахунки показали, що найбільш точний спосіб повної підготовки даних на пуск приводить до збільшення розрахункового значення потрібної кількості РС на 5..30% в порівнянні з еталонним випадком при $E_{x1} = 0, E_{y1} = 0$ в залежності від дальності стрільби (рис. 3). Менш точні способи визначення даних на пуск приведуть до більш значного зростання потрібної витрати РС для виконання бойового завдання. Тому, актуальне завдання пошуку шляхів подальшого зменшення значень похибок повної підготовки даних на пуск.

Висновки

1. На даний час виникла необхідність аналітичного визначення (уточнення) потрібної мінімальної витрати РС з КБЧ, що оснащені ОФ БЕ, для ураження розрахункових групових об'єктів.
2. Методика аналітичного визначення потрібної витрати РС з КБЧ, що розглянута, при гіпотезах рівномірного розподілу ЕО по площі позиції та рівномірного розсіювання ОФ БЕ, дозволяє оцінити потрібну мінімальну кількість РС з КБЧ для подавлення (знищення) розрахункового групового об'єкту.
3. Аналітичний розрахунок значення площі рівномірного розсіювання ОФ БЕ дозволяє оцінювати середню кількість ОФ БЕ, що влучають на позицію групового об'єкту, та сумарну приведену площу ураження.
4. На основі розглянутої методики може бути розроблена штабна методика аналітичного визначення потрібної мінімальної витрати РС з КБЧ, що оснащені ОФ БЕ, для ураження із заданим ступенем збитків різних групових об'єктів.

Список літератури

1. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов, Д.А. Гриб, А.В. Антонов та ін.; за заг. ред. А.М. Алімпієва. – Х.: Оригінал, 2015. – 732 с.
2. Хазов В.А. Практические рекомендации артиллерийским командирам (начальникам) и штабам по выполнению огневых задач реактивным полком / В.А. Хазов, Р.В. Волошин // Журнал научных публикаций. – 2008. – № 4. – С. 250-253. – Режим доступу: <http://jurnal.org/articles/2008/mil4.html>.
3. HenelSmith N. Projectile Motion: Finding the Optimal Launch Angle / N. HenelSmith. – Walla Walla: Whitman College, 2016. – 38 p.
4. Бобриков А.А. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии / А.А. Бобриков. – СПб.: Галея Принт, 2006. – 421 с.
5. Энциклопедия Оружие и технологии России в XXI веке. – М.: Оружие и технологии, 2006. – 844 с.

6. Efficient Method to Evaluate Critical Ricochet Angle of Projectile Penetrating into a Concrete Target [Електронний ресурс] / K.Ch. Min, H. Jihoon, P. Sangjin, J.A. Woo // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2018. – Vol. 2018. – P. 12. <https://doi.org/10.1155/2018/3696473>.
7. Maya B. Explosive Weapons: Framing the Problem / B. Maya, B. John. – Geneva: GICHD, 2010. – 145 p.
8. Dullum O. The Rocket Artillery Reference Book [Електронний ресурс] / O. Dullum. – Kjeller: Norwegian Defense Research Establishment, 2010. – 178 p. – Режим доступу: <https://www.ffi.no/no/Rapporter/09-00179.pdf>.
9. Analysis of influencing factors of mortar projectile reproduction process on fragment mass distribution / B. Zecevic, A. Catovic, J. Terzic, K.S. Serdarevic. – Sarajevo: University of Sarajevo Technologies Department, 2010. – 795 p.
10. Звиглянич С.Н. Обоснование модели оценивания степени поражения объектов при использовании кассетной боевой части / С.Н. Звиглянич, Ю.С. Литвинов // Системи обробки інформації. – 2005. – № 2(42). – С. 35-40.
11. Метод аналітичної оцінки розмірів області розсіювання точок падіння бойових елементів після розкриття кассетної бойової частини / В.М. Тарасов, О.О. Журавльов, М.П. Ізюмський, Н.В. Шигімага // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 4(56). – С. 60-66. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.56.09>.
12. Журавльов О.О. Модель оцінювання параметрів динамічного поля вражаючих елементів, що формується при розриві одного некеруемого осколково-фугасного бойового елемента / О.О. Журавльов, М.Г. Іванець // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 2(30). – С. 55-58.
13. Греков В.П. Метод оцінки розміру приведеної площі осколкового ураження кассетної бойової частини реактивного снаряду з осколково-фугасними бойовими елементами / В.П. Греков, О.О. Журавльов, Ю.А. Ткаченко // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 1(57). – С. 77-84. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.57.11>.
14. Борщевский С.Б. Стрельба наземной артиллерии / С.Б. Борщевский, общ. ред. В.И. Колесова // Военное издательство Министерства обороны СССР. – 1970. – С. 54-55.
15. Крэпа В.Г. Боевое применение ракетных войск и артиллерии в операциях / В.Г. Крэпа. – М.: Военная артиллерийская академия им. М.И. Калинина. – 1984. – С. 32.

References

1. Alimpiev, A.M., Pevtsov, G.V. and Grib, D.A. (2015), “*Dovidnyk uchasnyka ATO: ozbroiennia i viiskova tekhnika Zbroinykh Syl Rosiiskoi Federatsii*” [Reference book of the participant of the ATO: armament and military equipment of the Armed Forces of the Russian Federation], Original, Kharkiv, 732 p.
2. Hazov, V.A. (2008), “Prakticheskie rekomendacii artillerijskim komandiram (nachal'nikam) i shtabam po vypolneniiyu ognevnykh zadach reaktivnym polkom” [Practical recommendations to artillery commanders (chiefs) and staffs on the implementation of fire missions by a jet regiment], *Journal of Scientific Publications*, No. 4, pp. 250-253.
3. HenelSmith, N. (2016), *Projectile Motion: Finding the Optimal Launch Angle*, Whitman College, Walla Walla, 38 p.
4. Bobrikov, A.A. (2006), “*Ocenka ehffektivnosti ognevoogo porazheniya udarami raket i ognem artillerii: voenno-teoreticheskij trud*” [Evaluation of the effectiveness of fire damage by missile strikes and artillery fire: military theoretical work], Galeya Print, Sankt-Peterburg, 421 p.
5. Svertilov, N. (2006), “*Enciklopediya Oruzhie i tekhnologii Rossii v XXI veke*” [The XXI century encyclopedia], Russia's Arms Technologies, Moscow, 844 p.
6. Min, K.Ch., Jihoon, H., Sangjin, P. and Woo, J.A. (2018), Efficient Method to Evaluate Critical Ricochet Angle of Projectile Penetrating into a Concrete Target, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2018, 12 p. <https://doi.org/10.1155/2018/3696473>.
7. Maya, B. and John, B. (2010), *Explosive Weapons: Framing the Problem*, GICHD, Geneva, 145 p.
8. Dullum, O. (2010), *The Rocket Artillery Reference Book*, Norwegian Defense Research Establishment, Kjeller, 178 p., available at: <https://www.ffi.no/no/Rapporter/09-00179.pdf>.
9. Zecevic, B., Catovic, A., Terzic, J. and Serdarevic, K.S. (2010), *Analysis of influencing factors of mortar projectile reproduction process on fragment mass distribution*, University of Sarajevo Defense Technologies Department, Sarajevo, 795 p.
10. Zvyhlianych, S.N. and Lytvynov, Yu.S. (2005), “Obosnovanye modely otsenyvaniya stepeny porazheniya ob'ektov pry yspolzovanyy kassetnoi boevoi chasty” [Justification of the model for assessing the degree of destruction of objects when using a cluster warhead], *Information Processing Systems*, No. 2(42), pp. 35-40.
11. Tarasov, V.M., Zhuravlov, O.O., Iziumskiy, M.P. and Shyhimaha, N.V. (2018), “Metod analitichnoi otsinky rozmiriv oblasti rozsiuvannya tochok padinnia boiovykh elementiv pislia rozkryttia kasetnoi boiovoi chastyny” [A method of analytical estimation of battle elements falling points dispersion area space after opening cassette warhead of large caliber rocket], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 4(56), pp. 60-66. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.56.09>.
12. Zhuravlov, O.O. and Ivanets, M.H. (2012), “Model otsiniuvannya parametrov dynamichnogo polya vrazhaiuchykh elementiv, shcho formuietsia pry rozryvi odnogo nekeruiemoho oskolkovo-fugasnoho boiovoho elementa” [Model' ocinyuvannya parametrov dynamichnogo polya vrazhayuchih elementiv, shcho formuet'sya pri rozryvi odnogo nekeruемого oskolkovo-fugasnoho bojovogo elementa], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(30), pp. 55-58.
13. Hrekov, V.P., Zhuravlov, O.O. and Tkachenko, Yu.A. (2019), “Metod otsinky rozmiru pryvedenoj ploschi oskolkovoho urazhennia kasetnoi boiovoi chastyny reaktivnoho snariadu z oskolkovo-fugasnymy boiovyymy elementamy” [Method for evaluating the reference coverage area value of cassette high-explosive submunition of the multiple launch rocket system missile], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(57), pp. 77-84. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.57.11>.
14. Borschevsky, S.B. and Kolesov, V.I. (1970), “*Strelba nazemnoi artylleriy: knyha III*” [Shooting Ground Artillery: Book III], Military Publishing House of the Ministry of Defense of the USSR, 55 p.
15. Крапа, В.Г. (1984), “*Boevoe prymerenye raketnykh voisk y artylleriy v operatsiyakh*” [Combat use of missile forces and artillery in operations], Military Artillery Academy named after M.I. Kalinin, Moscow, 32 p.

Надійшла до редколегії 15.08.2019

Схвалена до друку 15.10.2019

Відомості про авторів:**Журавльов Олександр Олександрович**

кандидат технічних наук доцент
провідний науковий співробітник Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8176-3039>

Мурай Руслан Вікторович

старший науковий співробітник
Науково-дослідного центру ракетних військ і артилерії,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0149-0887>

Шигімага Наталія Вікторівна

молодший науковий співробітник Харківського
національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6326-0008>

Дроль Олександр Юрійович

викладач Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5472-208X>

Information about the authors:**Oleksandr Zhuravlev**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Lead Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8176-3039>

Ruslan Muray

Senior Research Associate
of Research Center of Rocket Troops and Artillery,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0149-0887>

Natalia Shigimaga

Junior Research of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6326-0008>

Oleksandr Drol

Instructor of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5472-208X>

МЕТОД АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ЗАДАНЫМ УРОВНЕМ УЩЕРБА

А.А. Журавльов, Р.В. Мурай, Н.В. Шигімага, А.Ю. Дроль

В статье рассмотрена методика аналитического определения требуемого минимального расхода реактивных снарядов крупного калибра с касетными боевыми частями, оснащенными осколочно-фугасными боевыми элементами. Предметом исследования является процесс расчетов требуемого минимального расхода реактивных снарядов. Объектом исследования является процесс аналитической оценки приведенной площади поражения. Эта приведенная площадь поражения формируется при разрыве нескольких осколочно-фугасных боевых элементов, которые попадают на позицию группового объекта при стрельбе на заданную дальность. Методика состоит из методов: оценки значений показателей рассеивания центров группирования точек падения боевых элементов; оценки погрешностей полной подготовки данных на пуск; оценки площади области группирования точек падения боевых элементов; модели уязвимости элементарного объекта; оценки значения приведенной площади осколочного поражения; оценки среднего количества боевых элементов, которые попадают на позицию группового объекта. Основные гипотезы, положенные в основу аналитических расчетов: равномерные распределения элементарных объектов по площади позиции и боевых элементов по площади области их рассеивания. На основе рассмотренной методики проведен расчет требуемого минимального расхода реактивных снарядов крупного калибра с касетными боевыми частями, оснащенными осколочно-фугасными боевыми элементами для подавления (уничтожения) расчетного группового объекта для опорных значений дальностей стрельбы. Проведена полиномиальная интерполяция полученных данных для оценки потребного минимального расхода реактивных снарядов для стрельбы на любую дальность заданного диапазона. Проведена оценка степени влияния погрешностей полной подготовки данных на требуемый расход реактивных снарядов.

Ключевые слова: реактивный снаряд, касетная боевая часть, осколочно-фугасный боевой элемент, требуемый расход реактивных снарядов, приведенная площадь области осколочного поражения.

METHODOLOGY OF ANALYTICAL DETERMINATION OF THE REQUIRED MINIMUM EXPENSE OF ROCKETS FOR DEFEAT OF OBJECTS WITH THE DEFINE LEVEL OF DAMAGE

O. Zhuravlev, R. Muray, N. Shigimaga, O. Drol

In the article methodology of analytical determination of the required minimum expense of large caliber rockets with the cassette warhead equipped by blast fragmentation battle elements is considered. The subject of research is a required minimum expense of rockets calculation process. A research object is a process of analytical estimation the adduced area of defeat. This adduced area of defeat is formed at the explosion of a few blast fragmentation battle elements that get on position of group object at firing on the define distance. Methodology consists of methods: points of battle elements falling grouping centers dispersion indexes estimation; complete starting data preparation errors estimation; battle elements falling grouping centers area estimation; models of elementary object vulnerability; value of the adduced area over of fragment defeat estimation; middle amount of battle elements that get on group object position estimation. Basic hypotheses stay in basis of analytical calculations: smooth dispersion of elementary objects on the position and battle elements across area of their dispersion. The error values of the complete preparation of data for launching rockets for the reference values of firing ranges were estimated. For two groups of errors of the dispersion components, the values of the dispersion indicators of the centers of grouping of the points of incidence of combat elements relative to the aiming point for the reference values of the firing ranges are estimated. On the basis of the considered methodology the calculation of the required minimum expense of large caliber rockets with cassette battle parts equipped by blast fragmentation battle elements, for suppression (eliminations) of calculated group object for the basic values of firing range is conducted. Polynomial interpolation of the obtained data for the estimation of the required minimum rockets expense for firing on any distance is performed. The estimation of complete data preparation errors influence degree on the required expense of rockets is carried out. Corresponding tables and charts are given.

Keywords: rocket, cassette battle part, blast fragmentation battle elements, required expense of rockets, adduced square of fragment defeat area.