

УДК 623.546

В.І. Макєєв, В.М. Петренко, В.Є. Житник

Сумський державний університет, Суми

МОЖЛИВОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КІНЦЯ АКТИВНОЇ ДІЛЯНКИ ТРАЄКТОРІЇ ПІД ЧАС СТРІЛЬБИ АКТИВНО-РЕАКТИВНИМИ СНАРЯДАМИ (МІНАМИ)

В статті оцінено можливості технічних засобів щодо визначення параметрів кінця активної ділянки траєкторії під час стрільби активно-реактивними снарядами (мінами, реактивними снарядами) та розраховано зміну показника ефективності стрільби внаслідок визначення установок на основі отриманих даних.

Ключові слова: активно-реактивний снаряд, активна ділянка траєкторії, показник ефективності.

Постановка проблеми та аналіз літератури

Авторами у роботі [1] запропоновано спосіб визначення установок для стрільби на ураження активно-реактивними снарядами (АРС), мінами (АРМ) та реактивними снарядами (РС), який полягає в визначенні за допомогою балістичної станції (радіотехнічного комплексу) координат снаряда, його швидкості, кута дотичної до траєкторії та відхилення вектора швидкості в напрямку в кінці активної ділянки траєкторії (АДТ) та введенні поправок на відхилення вимірних величин від їх табличних значень.

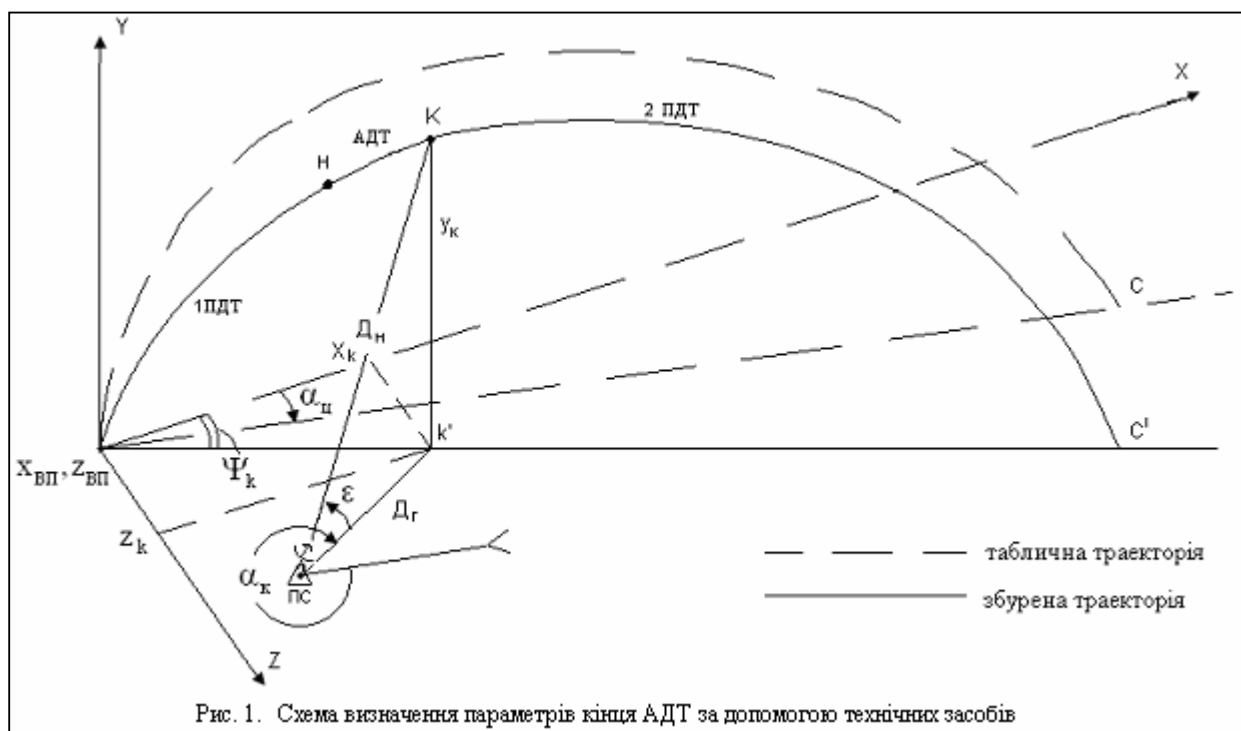
Проведені дослідження свідчать, що сумарна середня похибка визначення параметрів кінця АДТ під час стрільби дивізіоном АРС у дальності не повинна перевищувати 35–107 м, у напрямку 6–11 м. [1]. Тому виникає потреба оцінити можливості тех-

нічних засобів, які знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, щодо визначення параметрів кінця АДТ під час стрільби АРС (АРМ) і РС та визначити доцільність їх використання.

Мета статті – оцінювання можливості технічних засобів щодо визначення параметрів кінця активної ділянки траєкторії під час стрільби активно-реактивними снарядами (мінами) та визначення ефективності їх використання.

Викладення матеріалів дослідження

Виходячи із отриманих значень $E_{x_{\text{адоп}}}$, $E_{z_{\text{адоп}}}$ [1], оцінимо можливості технічних засобів по визначенню параметрів кінця АДТ під час стрільби АРС (АРМ) і РС. Спосіб визначення установок для стрільби АРС (АРМ, РС) за даними вимірювань параметрів кінця АДТ наведений на рис. 1.



Виходячи із рис. 1, параметри кінця АДТ можуть бути визначені за залежностями (1) – (6):

$$x_k = \sqrt{x_{пс} - x_{вп} + D_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha_k}^2 + z_{пс} - z_{оп} + D_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \alpha_k}^2, \quad (1)$$

$$y_k = D_H \cdot \sin \varepsilon, \quad (2)$$

$$z_k = \arctg \left(\frac{z_{пс} + D_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \alpha_k - z_{вп}}{x_{пс} + D_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha_k - x_{вп}} \right) - \alpha_{ц}, \quad (3)$$

$$V_k = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}, \quad (4)$$

$$\Theta_k = \arctg \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_z^2}}, \quad (5)$$

$$\Psi_k = \arctg \frac{V_z}{V_x}, \quad (6)$$

де $x_{оп}, z_{оп}; x_{пс}, z_{пс}$ – координати вогневої позиції і позиції станції;

α_k – дирекційний кут з позиції станції на снаряд у кінці активної ділянки траєкторії;

D_H – похила дальність від станції до снаряда у кінці активної ділянки траєкторії;

ε – кут місця снаряда у кінці активної ділянки траєкторії.

Тоді відхилення параметрів траєкторії від їх табличних значень в точці вимикання двигуна можна визначити за залежностями (7):

$$\begin{cases} \Delta x_k = x_k - x_{кт}; \\ \Delta y_k = y_k - y_{кт}; \\ \Delta z_k = z_k - z_{кт}; \\ \Delta \Theta_k = \Theta_k - \Theta_{кт}; \\ \Delta \Psi_k = \Psi_k - \Psi_{кт}. \end{cases} \quad (7)$$

Особливо актуальна ця задача під час визначення установок для стрільби РС, так як основний вплив на траєкторію його польоту здійснюється на АДТ.

Виміряні сферичні координати у ході вторинної обробки перетворюються за залежностями (1) – (6).

Середньоквадратичні похибки визначення прямокутних координат можуть бути знайдені на основі лінеаризації функції випадкових аргументів, тоді:

$$\sigma_{x_k} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial x}{\partial \beta_i} \sigma_{\beta_i} \right)^2}, \quad (8)$$

де $\beta_i = x_{пс}, x_{вп}, D_H, z_{пс}, z_{вп}, \varepsilon, \alpha_k$.

Попередньо введемо такі позначення:

$$\begin{cases} a = x_{пс} - x_{вп} + D_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha_k; \\ b = z_{пс} - z_{вп} + D_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \alpha_k; \\ c = a^2 + b^2; \\ d = \frac{b}{a}. \end{cases} \quad (9)$$

Величину σ_{x_k} знайдемо, взявши часткову похідну від функції (1), заданої в неявному вигляді. Пропустимо проміжні перетворення, тоді кінцевий вираз прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_{x_k}^2 = & \frac{a^2}{c} \sigma_{x_{вп}}^2 + \sigma_{x_{пс}}^2 + \frac{a \cdot \cos \alpha_k + b \cdot \sin \alpha_k}{c} \times \\ & \times D_H^2 \cdot \sin^2 \varepsilon \cdot \sigma_{\varepsilon}^2 + \cos^2 \varepsilon \cdot \sigma_{D_H}^2 + \\ & + \left[\frac{D_H \cdot \cos \varepsilon \cdot b \cdot \cos \alpha_k - a \cdot \sin \alpha_k}{\sqrt{c}} \sigma_{\alpha_k} \right]^2 + \\ & \frac{b^2}{c} \sigma_{z_{вп}}^2 + \sigma_{z_{пс}}^2, \end{aligned} \quad (10)$$

Аналогічно можуть бути визначені середньоквадратичні похибки σ_{y_k} та σ_{z_k} :

$$\sigma_{y_k}^2 = \sigma_{D_H}^2 \cdot \sin^2 \varepsilon + D_H^2 \cos^2 \varepsilon \cdot \sigma_{\varepsilon}^2, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{z_k}^2 = & \frac{1}{a^2 + d^2} \left[\sigma_{z_{вп}}^2 + \sigma_{z_{пс}}^2 + \frac{b^2}{a^2} \sigma_{x_{вп}}^2 + \sigma_{x_{пс}}^2 + \right. \\ & + \frac{a \cdot \sin \alpha_k - b \cdot \cos \alpha_k}{a^2} \cos^2 \varepsilon \cdot \sigma_{D_H}^2 + D_H^2 \cdot \sin^2 \varepsilon \times \\ & \left. \times \sigma_{\varepsilon}^2 + \frac{D_H^2 \cdot \cos^2 \varepsilon \cdot a \cdot \cos \alpha_k + b \cdot \sin \alpha_k}{a^2} \sigma_{\alpha_k}^2 \right] + \sigma_{\alpha_{ц}}^2, \end{aligned} \quad (12)$$

де $\sigma_{D_H}^2$ – середньоквадратичне похибок вимірювань похилої дальності D_H ;

$\sigma_{\varepsilon}^2, \sigma_{\alpha_{ц}}^2, \sigma_{\alpha_k}^2$ – середньоквадратичне похибок

вимірювань кута місця ε , дирекційного кута цілі та точки „К” відповідно;

$\sigma_{x_{вп}}^2, \sigma_{z_{вп}}^2, \sigma_{x_{пс}}^2, \sigma_{z_{пс}}^2$ – середньоквадратичне

похибок вимірювань положення вогневої позиції і позиції станції.

З метою зменшення середньоквадратичних похибок оцінок параметрів траєкторії $\sigma_{z_k}^*, \sigma_{x_k}^*, \sigma_{y_k}^*, \sigma_{v_x}^*, \sigma_{v_y}^*, \sigma_{v_z}^*$, здійснюється їх згладжування на основі методу максимальної правдоподібності. Рівень зниження середніх квадратичних помилок залежить від величини ділянки супроводження і порядкового номера точки вимірювання, для якої визначаються оцінки.

Якщо вимірювання рівно точні і отримані на рівномірній сітці, згладжуються методом найменших квадратів до середини інтервалу, то діагональні елементи матриці, оберненої від матриці коефіцієнтів нормальної системи, дозволяють знайти величини $\sigma_{z_k}^*, \sigma_{x_k}^*, \sigma_{y_k}^*, \sigma_{v_x}^*, \sigma_{v_y}^*, \sigma_{v_z}^*$. Для цього необхідно скористатися виразом [4]:

$$\sigma_{и}^2 \left(\frac{T_0^\psi}{\psi!} \right) = A_\psi, \quad (13)$$

де и – координата, що згладжується;

$\sigma_{и}^2$ – дисперсія похибки вимірювання координати;

ψ – порядковий номер похідної від координати, що згладжується ($\psi = 0, 1, \dots$);

A_ψ – діагональний елемент оберненої матриці;

T_0 – період знімання даних.

Тоді середньоквадратичні похибки будуть мати вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{x_k}^2 = A_0 \sigma_{x_k}^2; \\ \sigma_{y_k}^2 = A_0 \sigma_{y_k}^2; \\ \sigma_{z_k}^2 = A_0 \sigma_{z_k}^2; \\ \sigma_{v_x}^2 = \frac{A_1}{T_0^2} \sigma_{x_k}^2; \\ \sigma_{v_y}^2 = \frac{A_1}{T_0^2} \sigma_{y_k}^2; \\ \sigma_{v_z}^2 = \frac{A_1}{T_0^2} \sigma_{z_k}^2. \end{array} \right. \quad (14)$$

Величини A_0, A_1 залежать від кількості вимірювань „n” на траєкторії та від ступені полінома „m”, що згладжується. Найбільша точність оцінок досягається під час їх обчислення в середині інтервалу спостереження. В роботі [4] наведені величини A_0, A_1 для різних значень „n” і „m” якраз для цього випадку (точка „K” в середині інтервалу супроводження).

Для визначення середньоквадратичних похибок оцінок $\sigma_{V_k}^*$ і $\sigma_{\Theta_k}^*$ використаємо вирази (19), (20), які отримані згідно рис. 1:

$$V_k = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}, \quad (15)$$

$$\Theta_k = \arctg \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_z^2}}, \quad (16)$$

де $V_x = V \cdot \cos \Theta$; $V_y = V \cdot \sin \Theta$;

$$V_z = V \cdot \cos \Theta \sin \psi;$$

$$\psi_k = \arctg \frac{V_z}{V_x}.$$

Величини $\sigma_{V_k}^*$ і $\sigma_{\Theta_k}^*$ знайдемо на основі загальних правил лінеаризації функції випадкових аргументів [5].

Взявши часткові похідні від функцій (15), (16) і провівши перетворення, остаточно отримаємо вираз для $\sigma_{V_k}^*$ і $\sigma_{\Theta_k}^*$:

$$\sigma_{V_k}^2 = \frac{V_x^2}{V_k} \sigma_{v_x}^2 + \frac{V_y^2}{V_k} \sigma_{v_y}^2 + \frac{V_z^2}{V_k} \sigma_{v_z}^2. \quad (17)$$

$$\sigma_{\Theta_k}^2 = \left[\frac{V_x^2 + V_z^2}{V_k^2} \sigma_{v_y}^2 \right]^2 + \left[\frac{V_x \cdot V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_z^2} \cdot V_k^2} \sigma_{v_x}^* \right]^2 + \left[\frac{V_x \cdot V_z}{\sqrt{V_x^2 + V_z^2} \cdot V_k^2} \sigma_{v_z}^* \right]^2, \quad (18)$$

$$\sigma_{\psi_k}^2 = \left(\frac{V_z}{V_x^2 + V_z^2} \sigma_{v_x} \right)^2 + \left(\frac{V_x}{V_x^2 + V_z^2} \sigma_{v_z} \right)^2. \quad (19)$$

Проведені дослідження свідчать, що визначення оцінок першої похідної для поліному другої ступені проводиться з меншою відносною дисперсією, ніж для поліному 3 ступені. Найбільша точність визначення оцінок для $n=19-21$.

На основі викладеної методики розрахуємо серединні помилки визначення параметрів кінця АДТ за допомогою артилерійського розвідувального комплексу АРК-1. Для 203-мм АРС самохідної пушки (СП) 2С7 прийнято $\sigma_{x_{вп}} = \sigma_{x_{пс}} = \sigma_{z_{вп}} = \sigma_{z_{пс}} = 15$ м, $\sigma_{\alpha_{ц}} = \sigma_{\alpha_{к}} = 1,5$ тис, $x_{пс} - x_{вп} = 2$ км, $z_{пс} - z_{вп} = 2$ км [4]. Для 152-мм АРС СП 2С5 прийнято $\sigma_{x_{вп}} = \sigma_{x_{пс}} = \sigma_{z_{вп}} = \sigma_{z_{пс}} = 37$ м, $\sigma_{\epsilon} = \sigma_{\alpha_{к}} = 2$ тис, $\sigma_{\alpha_{ц}} = 1,5$ тис, $\sigma_{D_{н}} = 15$ м, $x_{пс} - x_{вп} = 500$ м, $z_{пс} - z_{вп} = 500$ м. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Порівняльна оцінка даних табл. 1 свідчить, що точність визначення параметрів АДТ за допомогою АРК в значній мірі залежить від точності прив'язки вогневої позиції і позиції станції, а також від орієнтування станції і похибки визначення кута місця (ϵ).

В табл. 2 наведені серединні похибки E_{x_a}, E_{z_a} , розраховані за залежностями, наведеними в [1].

Аналіз даних (табл. 1, 2) показує, що потрібна точність визначення параметрів кінця АДТ, АРК – 1 досягається за виконання таких умов:

– прив'язка вогневої позиції та позиції станції проведена на геодезичній основі по карті з вписаними координатами контурних точок;

– середня помилка визначення $\alpha_{ц}, \alpha_{к}, \epsilon$ не повинна перевищувати 1 тисячну;

– точність визначення сферичних координат АРК-1 $\sigma_{D_{н}} \leq 15$ м, $\sigma_{\epsilon} \leq 1,5$ тис;

– в групі повинно бути засічено не менше чотирьох снарядів.

Умови, за яких виникає необхідність створення засобів контролю стрільби, можуть бути визначені тільки на основі оцінки бойової ефективності і встановлення причин, котрі призводять до її значного збільшення [2, 5].

Таблиця 1

Серединні похибки визначення параметрів кінця АДТ						
Θ_0 , град	E_{x_k} , м	E_{y_k} , м	E_{z_k} , м	E_{v_k} , м	E_{θ_k} , тис	E_{ψ_k} , тис
203-мм АРС для СП 2С7 m=2 n=19						
20	5,8	4,9	9,1	0,40	4,1	3,2
35	6,0	4,4	9,5	0,37	3,9	3,1
50	6,5	4,0	10,0	0,35	3,8	3,0
152-мм АРС для СП 2С5 m=2 n=21						
20	17,0	3,9	19,2	0,70	6,6	5,4
35	17,4	3,6	19,7	0,68	6,4	5,2
50	17,9	3,4	20,1	0,65	6,2	5,1

Таблиця 2

Серединні похибки визначення параметрів кінця АДТ реактивного снаряду М-210Ф

Варіанти РС	Θ_0 , град	Умови визначення параметрів траєкторії			
		Таблиця 3		Таблиця 4	
		E_{x_a} , м	E_{z_a} , м	E_{x_a} , м	E_{z_a} , м
М-210Ф без тормозного кільця	20	115/33	6/3	463/231	17,4/4,4
	35	100/47	6,6/3,3	317/158	17,8/4,5
	50	82/58	7,0/3,5	143/71	18,2/4,6
М-210Ф з малим тормо- зним кільцем	20	77/38	8,1/4,1	248/124	19,2/4,8
	35	151/75	8,4/4,2	205/102	19,7/4,9
	50	214/102	8,7/4,4	146/73	20,1/5,0

Примітка: 1. В чисельнику значення E_{x_a} (E_{z_a}) за умови, що засічено один снаряд.

2. В знаменнику значення E_{x_a} (E_{z_a}) за умови, що в групі засічено чотири снаряди.

В якості показника ефективності стрільби застосовується математичне сподівання процента уражених цілей $M(a)$ (для групових цілей), або ймовірність ураження цілі P (для окремих цілей), які розраховуються за залежностями (24), (25) [5].

$$P = 1 - 4 \sum_{z_j=0}^{5E_z} Q z_j \sum_{x_i=0}^{5E_x} Q x_i \quad \text{ч } x_i z_j, \quad (20)$$

$$M a = \frac{M a'}{\Gamma_{\psi} \cdot \Phi_{\psi}}, \quad (21)$$

$$\text{де } M a' = \int_{-0,5\Gamma_{\psi}}^{+0,5\Gamma_{\psi}} \int_{-0,5\Phi_{\psi}}^{+0,5\Phi_{\psi}} \frac{1}{\Gamma_{\psi} \Phi_{\psi}} P V_x V_z dV_x dV_z.$$

Тоді відносні зміни вибраних показників ефективності можемо знайти за залежностями:

$$\Delta M = \frac{M a^k - M a^p}{M a^p}, \quad \Delta P = \frac{P^k - P^p}{P^p}, \quad (22)$$

де $M[a]^p$ – математичне сподівання процента уражених цілей внаслідок ведення вогню на основі повної підготовки;

$M[a]^k$ – математичне сподівання процента уражених цілей внаслідок ведення вогню на основі визначення установок за даними вимірювань параметрів кінця АДТ за допомогою технічних засобів;

P^p – ймовірність ураження цілі внаслідок ведення вогню на основі повної підготовки;

P^k – ймовірність ураження цілі внаслідок ве-

дення вогню на основі визначення установок за даними вимірювань параметрів кінця АДТ за допомогою технічних засобів.

Величини показників ефективності стрільби АРС (АРМ, РС) внаслідок ведення вогню на основі визначення установок за даними вимірювань параметрів за допомогою АРК знайдемо моделюванням стрільби на ЕОМ методом чисельного інтегрування в реальній системі помилок [2, 5].

Результати розрахунків для 152-мм АРС СП 2С5, 203-мм АРС СП 2С7, 240-мм АРС СП 2С4 та 122-мм РС БМ-21 наведені в табл. 3. Розрахунки виконані за умови, що поправки на вітер в межах АДТ визначались за даними бюлетеня „Метеосередній”.

Аналіз даних табл. 3 показує, що визначення установок для стрільби АРС (АРМ, РС) за даними вимірами параметрів кінця АДТ за допомогою АРК – 1 у порівнянні з визначенням установок для стрільби на основі повної підготовки забезпечує відносне збільшення показника ефективності ΔM (ΔP) в середньому для АРС – 28%, а під час стрільби АРМ – 25%, для реактивних снарядів – 33%. Нехай в якості початкового припущення буде те, що спосіб більш доцільний буде в тому випадку, якщо відносне збільшення показника ефективності ΔM (ΔP) буде $\geq 10\%$ [2, 5]. Тоді отримані результати (табл. 3) дозволяють зробити висновок, що використання даного способу визначення установок – за даними вимірювань параметрів кінця АДТ за допомогою АРК-1, є доцільним.

Таблиця 3

Значення збільшення показника ефективності, в %

Варіанти АРС	Θ_0 , град	Вертольоти на посадкових майданчиках (ΔM)	Пускова установка „Ланс” (ΔP)	Батарея „Хок” (ΔM)	ЦУБД КП АК (ΔM)
203-мм АРС для СП 2С7	20	–	14	16	24
	35	–	17	23	31
	45	–	23	32	43
	50	–	25	36	50
152-мм АРС для 2С3	20	–	12	14	20
	35	–	15	21	29
	45	–	19	27	37
	50	–	21	30	41
240-мм АРМ для СМ 2С4	79	13	–	12	17
	70	21	–	19	25
	62	30	–	27	37
РС М 21–ОФ для БМ-21	7	17	–	15	21
	23	31	–	29	33
	45	49	–	35	42

Висновки

Доведено, що комплекс АРК-1 забезпечує визначення параметрів траєкторії з необхідною точністю.

Запропонований спосіб визначення установок – за даними вимірювань параметрів кінця АДТ за допомогою АРК-1, дозволяє підвищити ефективність ураження цілей в середньому на 28%, порівняно з існуючими методами повної підготовки.

Список літератури

1. *Макеев В.І. Дослідження можливостей визначення установок для стрільби активно-реактивними снарядами (минами) за даними вимірів параметрів активної ділянки траєкторії / В.І. Макеев, В.М. Петренко, В.Є. Житник // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – №2(18). – С. 27-30.*

2. *Фендриков Н.М. Методы расчета боевой эффективности вооружения / Н.М. Фендриков, В.И. Яковлев. – М.: Воениздат, 1971. – 174 с.*

3. *Правила стрельбы и управления вогнем артиллерии (группа, дивизион, батарея, взвод, гармата). – К.: Варта, 1995. – 304 с.*

4. *Ульянов Г.Н. К вопросу сравнительной оценки экстраполяционных методов / Г.Н. Ульянов // Вопросы специальной радиотехники. Серия Радиоэлектронная техника. – М., 1980. – Вып. 15. – 78 с.*

5. *Червоний А.А. Вероятностные методы оценки эффективности вооружения / А.А. Червоний. – М.: Воениздат, 1979. – 93 с.*

Надійшла до редколегії 4.08.2009

Рецензент: канд. фіз.-мат. наук, проф. В.С. Іваній, Сумський державний педагогічний університет, Суми.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ КОНЦА АКТИВНОГО УЧАСТКА ТРАЕКТОРИИ ПРИ СТРЕЛЬБЕ АКТИВНО-РЕАКТИВНЫМИ СНАРЯДАМИ (МИНАМИ)

В.И. Макеев, В.Н. Петренко, В.Е. Житник

В статье оценена возможность технических средств по определению параметров конца активного участка траектории при стрельбе активно-реактивными снарядами (минами, реактивными снарядами) и рассчитано изменение показателя эффективности стрельбы вследствие определения установок на основе полученных данных.

Ключевые слова: активно-реактивный снаряд, активный участок траектории, показатель эффективности.

ENGINEERING TOOLS EVALUATION OF CHARACTERIZATION THE END OF ACTIVE PATH SEGMENT OVER A SHOOTING PERIOD BY ACTIVE-REACTIVE SHELLS (MINE)

V.I. Makeev, V.N. Petrenko, V.E. Zhitnik

Article devote to engineering tools evaluation of characterization the end of active path segment over a shooting period by active-reactive shells (mine, reactive shells) and estimate exponent deviation through to evaluation of getting results.

Keywords: active shell, active plot of trajectory, exponent deviation.