В.І. Макеєв, В.М. Петренко, В.Є. Житник, А.Ф. Раскошний

Сумський державний університет, Суми

ОЦІНКА ВПЛИВУ БАЛІСТИЧНИХ ТА МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПОЛІТ РЕАКТИВНИХ СНАРЯДІВ

В роботі на основі аналізу збурюючих чинників, які впливають на політ оперених реактивних снарядів, визначені ті чинники, які істотно впливають на дальність і напрямок польоту снарядів. За результатами аналізу надані рекомендації щодо обліку метеорологічних і балістичних факторів які необхідно включити в таблиці стрільби як існуючих, так і перспективних реактивних снарядів.

Ключові слова: оперений реактивний снаряд, активна ділянка траєкторії, пасивна ділянка траєкторії, балістичні фактори, метеорологічні фактори.

Вступ

Постановка проблеми. Перспективним напрямком розвитку артилерійських реактивних систем є розробка та прийняття на озброєння високоточних реактивних боєприпасів. Ефективність застосування цих боєприпасів в повній мірі залежить від точності визначення установок для стрільби – більш точного урахування метеорологічних та балістичних умов стрільби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз [1–4; 13–15] показує, що для оперених реактивних снарядів є важливим вивчення таких балістичних факторів як вплив температури реактивного заряду на одиничний імпульс тяги, час роботи двигуна та метеорологічних факторів.

Мета статті – уточнити збурюючі чинники, які істотно впливають на дальність і напрямок польоту реактивних снарядів та надати рекомендації щодо обліку метеорологічних і балістичних факторів.

Виклад основного матеріалу

1. Аналіз збурюючих чинників

На пасивній ділянці траєкторії (ПДТ) політ реактивних снарядів (РС) не відрізняється від траєкторії і польоту звичайних снарядів і мін. Турбореактивні снаряди (ТРС) під час польоту стабілізуються обертанням і мають значні лінійну і кутову швидкість, такі, що знижують вплив вітру на снаряд на активній ділянці траєкторії (АДТ). Оперені реактивні снаряди мають швидкість у декілька разів меншу ніж у ТРС, чим обумовлена його велика чутливість до впливу вітру на АДТ. Всі збурюючі чинники, що викликають відхилення реактивних снарядів від цілі можуть бути розділені на 3 групи умов стрільби: балістичні, метеорологічні, топогеодезичні [1–3].

Повна дальність польоту може бути представлена:

$$D = D_{АДТ} + D_{ПДТ}, \quad (1)$$

де $D_{АДТ}$ і $D_{ПДТ}$ – дальність польоту реактивного снаряду на АДТ і ПДТ відповідно.

Дальність польоту реактивного снаряду на АДТ може бути визначена виразом [4]:

$$D_{АДТ} = \left(V_0 \cdot \tau_a + \frac{1}{2} I_a \cdot \tau_a^2 \right) \cdot \cos \theta_{cp}, \quad (2)$$

де $I_a = I_1 \cdot g \frac{\mu_k}{\tau_a} - C_a \cdot \pi(y_a) \cdot F(V_{r\tau}) - g \cdot \sin \theta_{cp}$ – прискорення реактивного снаряда на АДТ;

$$\mu_k = \frac{\omega_0}{q_0} \text{ – коефіцієнт енергозабезпечення реактивного снаряду;}$$

$F(V_{r\tau})$ – функція опору повітря;

$\pi(y_a)$ – функція розподілу тиску з висотою;

g – прискорення сили тяжіння;

$$\theta_{cp} = \frac{\theta_0 + \theta_k}{2} \text{ – середній кут нахилу дотичної}$$

до траєкторії на АДТ;

θ_0 – кут падіння при сході з направляючої;

θ_k – кут падіння в точці виключення двигуна;

$$C_a = \frac{i_a d^2}{q_0} 10^3 \text{ – балістичний коефіцієнт.}$$

З аналізу виразу (2) видно, що дальність польоту реактивних снарядів на АДТ залежить від наступних чинників:

– величини одиничного імпульсу тяги – I_1 ;

– часу роботи двигуна – τ_a ;

– ваги реактивного заряду – ω_0 ;

– ваги реактивного снаряда – q_0 .

Дальність пасивної ділянки може бути представлена у вигляді [4]:

$$D_{ПДТ} = (1 - \beta) \times \frac{V_k^2 \times \sin 2\Theta_k}{g}. \quad (3)$$

У виразі (3) коефіцієнт гальмування β враховує вплив опору повітря.

З виразу (3) виходить, що дальність пасивної ділянки визначається елементами кінця активної ділянки траєкторії і опором повітря реактивного снаряда який враховуються через коефіцієнт форми (i). Перераховані вище чинники, зазвичай, відносять до групи балістичних умов стрільби і, як видно з формули (3), вони визначають дальність польоту реактивних снарядів.

Основними метеорологічними і топогеодезичними чинниками, що викликають відхилення реактивного снаряда від цілі, є: вітер, відхилення температури повітря, відхилення наземного тиску, перевищення цілі над вогневою позицією.

2. Початкова швидкість реактивного снаряда (швидкість в кінці активної ділянки траєкторії)

Величина швидкості реактивних снарядів в точці виключення двигуна може бути представлена функціональною залежністю [5];

$$V_k = f(\sigma V_{II}, \Delta, T_{3p}, \omega_0, I_1, \tau_a), \quad (4)$$

де σV_{II} – партійна поправка яка залежна від фізико-хімічних характеристик пороху;

Δ – діаметральний проміжок між корпусом реактивного снаряда та направляючою.

Згідно системи поправок, що існує в артилерії зміну початковій швидкості за рахунок відхилення температури металюного заряду враховують окремими поправками.

Відхилення швидкості від табличної через вагу реактивного заряду, партії пороху обумовлено структурними змінам, такими, що відбуваються під час зберігання зарядів, а також технологічними можливостями щодо одноманітності виготовлення зарядів.

Величина граничного відхилення швидкості V_k за рахунок цього чинника може досягати 2,5% V_k [3]. Істотний вплив на величину швидкості V_k дає величина кільцевого проміжку. Величина відхилення швидкості V_k через цей чинник залежить від калібру і швидкості реактивного снаряда, яка в середньому складає 0,3-0,6% V_k [6; 7].

Методом статистичних випробувань за допомогою системи диференціальних рівнянь [9; 12] визначено середнє відхилення ($E_{V_k} = 1,4\% V_k$) і максимальне відхилення швидкості ($E_{V_k \max} = 5,6\% V_k$) реактивного снаряда в точці виключення двигуна через зміни метеорологічних і балістичних чинників.

Максимальна помилка в дальність, як показали проведені розрахунки, при цьому склала 1140,7 м [11]. Такими помилками в дальності нехтувати не можна.

Для визначення величини відхилення снаряда за дальністю із-за розкиду: величини одиничного імпульсу тяги, часу роботи двигуна, часу включення двигуна, часу роботи двигуна, ваги реактивного заряду, проведені розрахунки за допомогою системи диференціальних рівнянь [9; 12] для збурених і табличних умов стрільби.

Дані розрахунків зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Відхилення реактивного снаряду від цілі в наслідок впливу балістичних чинників для снаряда М21-ОФ

Найменування чинника, a_i	Позначення відхиленя	Відхилення РС від цілі в метрах через a_i фактор			
		$D_{\max}$	$D_{\min}$	$D_{\max}$	$D_{\min}$
		ΔX_{a_i} граничне відхилення		$E_{X_{a_i}}$ ймовірне відхилення	
Вага РС	ΔX_{q_0}	98	68	24,5	17
Вага реактивного заряду	ΔX_{ω_0}	116	60	29	15
Час включення двигуна	ΔX_{t_H}	20	72	5	18
Час роботи двигуна	ΔX_{τ_a}	16	32	4	8
Одиничний імпульс тяги	ΔX_{I_1}	96	52	24	13

Джерело: [12, С. 36].

З приведених даних видно, що неврахування відхилень балістичних чинників від табличних приводить до значних помилок в дальності, особливо неврахування відхилення ваги реактивного заряду

від табличного та одиничного імпульсу тяги реактивного двигуна.

Проведені розрахунки підтверджуються роботами [11–12].

3. Коефіцієнт форми реактивного снаряда

Коефіцієнт форми реактивного снаряда визначає його аеродинамічні відмінності від снаряда, прийнятого за еталон.

Незначні відхилення форми реактивного снаряда (в межах креслярських розмірів) впливають на розсіювання снарядів і під час підготовки установок для стрільби не враховуються.

4. Вага реактивного снаряда

Відхилення ваги реактивного снаряда, як і звичайних снарядів, обумовлено технологічними можливостями щодо їх одноманітному виготовленню та регламентовані вимогами креслення.

Відповідно до вимог креслення допускається відхилення ваги реактивного снаряда від креслярського табличного до 3% q_0 [10].

5. Вплив збурюючих чинників на політ реактивних снарядів. Балістичні чинники

Можливі межі зміни параметрів роботи реактивного двигуна визначені методом статистичної обробки дослідного матеріалу [11].

Під час аналізу використані матеріали снарядів системи “Град” М21-ОФ.

Для розрахунків прийнято 30 партій реактивних снарядів “Град”.

Результати наведені в табл. 2 [11].

Таблиця 2

Характеристики параметрів двигуна

Параметри двигуна	Граничне відхилення	Вірогідне відхилення
Час включення двигуна, t_H	0,2 с	0,05 с
Вага реактивного заряду, ω_0	1%	0,25%
Час роботи двигуна, τ_a	3,8%	0,95%
Одиничний імпульс тяги, I_1	0,9%	0,22%

Джерело: [11, С. 56].

На величину часу роботи двигуна та одиничного імпульсу тяги суттєво впливає температура реактивного заряду, яка головним чином визначається температурою навколишнього середовища. Середня статистична температура повітря на земній поверхні за даними робіт [8; 9] характеризується величиною 273,8°K, з середнім відхиленням 12,1°K при цьому граничне відхилення температури повітря від температури, прийнятої за нормальну (+15°С) в артилерійській атмосфері, складатиме + 63°С і +33°С.

Величина зміни часу роботи двигуна та одиничного імпульсу тяги залежить від чутливості зарядів

до зміни температури реактивного заряду і визначається значеннями похідних $\frac{\partial I_1}{\partial T_{3p}}$ і $\frac{\partial \tau_a}{\partial T_{3p}}$.

За даними робіт [8; 9] величина похідних для реактивних зарядів складають в середньому:

$$\frac{\partial I_1}{\partial T_{3p}} = 0,05 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{град}}; \quad \frac{\partial \tau_a}{\partial T_{3p}} = -0,010 \frac{\text{с}}{\text{град}}.$$

Аналіз залежності одиничного імпульсу тяги та часу роботи двигуна від температури заряду (T) проведено в [13].

Таблиця 3

Середні значення швидкості вітру та величин середніх відхилень швидкості вітру

Висота траєкторії, км	0	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0
Середня швидкість вітру, м/с	3,5	5,0	5,9	6,5	6,7	7,2	8,0	10,2	13,2	14,5
Середні відхилення, м/с	1,9	2,7	3,2	3,5	3,6	3,9	4,3	5,5	7,1	7,8

Джерело: [11, 56–57].

Таблиця 4

Середні (статистичні) значення температури повітря, атмосферного тиску та величини їх середніх відхилень

Висота, км	Середня температура повітря, градус	Середнє відхилення, градус	Середній атмосферний тиск, мм.рт.ст.	Середнє відхилення атмосферного тиску, мм.рт.ст.
0	273,8	12,1	752,0	10,8
1	273,1	11,4	672,6	10,8
2	268,5	10,9	593,0	10,5
5	252,0	9,3	400,5	9,1
8	233,3	8,0	263,2	8,0
10	223,6	7,3	195,7	7,0

Джерело: [11, С. 58].

Порівнюючи дані табл. 3 і табл. 4 з даними, прийнятими за нормальні (у нормальній артилерійській атмосфері) [3], можна бачити, що вони не співпадають. З цього можна зробити висновок, що межі зміни можливих значень метеорологічних факторів від нормальних слід встановлювати за середнім значенням і середнім відхиленням від середнього значення за заданим рівнем вірогідності.

Середні значення швидкості вітру та середні відхилення температури повітря, а також їх середні відхилення можуть бути встановлені за балістичними середніми та характеризуватися наступними величинами [11; 12].

На АДТ:

– середнє відхилення $\bar{w}_a = 6,1 \text{ м/с}$;

– середнє відхилення $E_{w_a} = 3,77 \text{ м/с}$.

На ПДТ:

– середнє відхилення $\bar{w}_n = 11,3 \text{ м/с}$;

– середнє відхилення $E_{w_n} = 7,1 \text{ м/с}$;

– середнє відхилення $\Delta \bar{t}_0 = -4,9^\circ \text{C}$;

– середнє відхилення $E_{t_0} = 7,8^\circ \text{C}$.

За існуючою системою метеорологічних поправок в артилерії врахування відхилення щільності повітря проводять через відхилення наземного тиску та температури повітря.

Розподіл зміни тиску для висоти рівня моря характеризується наступними величинами [11; 12].

$$\Delta \bar{h} = 2 \text{ мм.рт.ст.}, \quad E \Delta h = 10,8 \text{ мм.рт.ст.}$$

Відхилення оперених реактивних снарядів від цілі за рахунок відхилень метеорологічних умов від табличних визначалися за допомогою системи диференціальних рівнянь [9; 12]. Результати якого приведені в табл. 5.

Аналіз наведених даних дозволяє зробити висновок, що у оперених реактивних снарядів велика чутливість до вітру на АДТ, тому необхідно розробити спосіб визначення вітру на активній ділянці траєкторії з високою точністю.

Таблиця 5

Відхилення РС М21-ОФ від цілі унаслідок впливу метеорологічних чинників

Найменування фактора, α_i	Позначення відхилень	Відхилення РС від цілі в метрах через α_i фактора			
		$D_{\max}$	$D_{\min}$	$D_{\max}$	$D_{\min}$
		ΔX_{α_i} граничне відхилення		$E_{X_{\alpha_i}}$ ймовірне відхилення	
Температура повітря	ΔX_T	808	351	175	76
Тиск повітря	ΔX_h	355	189	85	45
Поздовжній вітер на АДТ	$\Delta X_{W_{ax}}$	57	2457	11	455
Поздовжній вітер на ПДТ	$\Delta X_{W_{nx}}$	1431	1224	282	241
Боковий вітер на АДТ	$\Delta Z_{W_{az}}$	1773	2671	328	494
Боковий вітер на ПДТ	$\Delta Z_{W_{nz}}$	799	1102	158	217

Джерело: [11, С. 67].

6. Визначення характеристик впливу основних збурюючих чинників на політ реактивних снарядів

Визначення основних збурюючих чинників, що впливають на політ реактивних снарядів, і ваги в них балістичних та метеорологічних чинників про-

ведено на основі планування експерименту залежності [8] і системи диференціальних рівнянь руху центру мас реактивних снарядів має вигляд [9; 12] для реактивних снарядів “Град” з використанням таблиць 2–6. Результати рішення представлені в табл. 7 і гістограмах рис. 1–4.

Таблиця 6

План-матриця в числа для М 21-ОФ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1,85	1,068	0,7552	0,58500	0,91654	0,77461	28,032	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
2	-1,85	1,068	0,7552	0,58500	0,91654	0,77461	28,032	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
3	0	-2,136	0,7552	0,58500	0,91654	0,77461	28,032	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
4	0	0	-2,2655	0,58500	0,91654	0,77461	28,032	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
5	0	0	0	-2,34006	0,91654	0,77461	28,032	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
6	0	0	0	0	-4,5829	0,77461	28,032	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
7	0	0	0	0	0	-4,6480	28,032	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
8	0	0	0	0	0	0	-185,92	63,397	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077

Закінчення табл. 6

9	0	0	0	0	0	0	288,9	-492,79	0,56642	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
10	0	0	0	0	0	0	288,9	750	-5,09823	0,51231	12,4661	0,10959	1,077
11	0	0	0	0	0	0	288,9	750	0	-5,1238	12,4661	0,10959	1,077
12	0	0	0	0	0	0	288,9	750	0	0	-136,23	0,10959	1,077
13	0	0	0	0	0	0	288,9	750	0	0	201,9	-1,2391	1,077
14	0	0	0	0	0	0	288,9	750	0	0	201,9	1,88	-13,9342
15	0	0	0	0	0	0	288,9	750	0	0	201,9	1,88	20,5

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 7

Значення коефіцієнтів регресії b_i (м), (тис) РС М-21 ОФ (без тормозного кільця) для ймовірнісних відхилень факторів

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}
Д	$\frac{dZ}{dW_{aZ}}$	$\frac{\delta Z}{dW_{aX}}$	$\frac{dX}{dW_{aX}}$	$\frac{\delta X}{dW_{aZ}}$	$\frac{dZ}{dW_{\Pi Z}}$	$\frac{dX}{dW_{\Pi X}}$	$\frac{dX}{dT_B}$	$\frac{dX}{dH}$	$\frac{dX}{dT_{3p-}}$	$\frac{dX}{dT_{3p+}}$	$\frac{dX}{dl_1}$	$\frac{dX}{d\tau\alpha}$	$\frac{dX}{d\omega_0}$
(м)	тис/м/с	тис/м/с	м/м/с	м/м/с	тис/м/с	м/(м/с)	м/с	м/мм рт ст.	м/-с	м/+с	м/кгс/кг	м/с	м/кг
5000	19,24	0,37	12,21	15,355	2,201	18,46	27,3	28,08	225,72	148,96	37,8	177,6	21,75
6000	19,24	0,37	17,094	19,092	2,343	24,85	35,1	35,64	212,8	139,08	42,3	160,4	24,75
7000	19,24	0,74	23,569	23,569	2,911	32,66	44,46	43,2	199,12	129,96	46,8	144,5	27,4
8000	19,24	0,74	31,376	27,232	3,621	42,6	55,38	50,76	185,44	120,08	51,3	128,2	29,7
9000	19,61	0,74	40,293	30,969	3,763	53,96	66,3	59,4	172,52	109,44	55,8	114	31,8
10000	19,61	0,74	50,32	34,78	4,473	67,45	78,78	69,12	161,12	98,04	59,4	101,4	33,75
11000	19,61	0,74	61,457	38,665	5,041	83,07	92,82	77,76	151,24	86,64	63	90,3	35,55
12000	19,98	1,11	74,148	43,068	5,751	101,53	107,64	87,48	142,12	74,48	66,6	79,5	37,1
13000	19,98	1,11	87,542	45,695	5,822	122,12	121,68	95,04	133,76	63,08	70,2	70,1	38,65
14000	20,35	1,11	106,19	48,692	6,532	146,26	138,06	105,84	130,72	50,92	73,8	61,2	40,15
15000	20,72	1,48	124,875	51,06	7,1	171,11	154,44	114,48	125,4	40,28	77,4	53,1	41,8
16000	21,09	1,48	145,632	52,688	7,81	198,8	167,7	124,2	120,08	28,12	80,1	45	43,55
17000	21,46	1,85	169,201	54,094	8,52	229,33	182,52	132,84	115,52	18,24	84,6	36,7	45,55
18000	22,57	2,22	198,468	58,608	8,52	259,86	193,44	143,64	108,68	9,88	89,1	27,7	47,95
19000	23,68	2,59	241,832	65,379	9,94	295,36	203,58	154,44	101,84	0,76	94,5	16,3	50,95
20000	26,27	2,96	347,8	79,92	10,65	338,67	205,14	167,4	89,68	10,64	104,4	4,1	56,25

Джерело: розроблено авторами.

Рис. 1. Значимість факторів в дальності для РС М-21 ОФ (без гальмівного кільця) дальність польоту 8000 м
Джерело: розроблено авторами.

Рис. 2. Значимість факторів в напрямку для РС М-21 ОФ (без гальмівного кільця)
дальність польоту 8000 м
Джерело: розроблено авторами.

Рис. 3. Значимість факторів в дальності для РС М-21 ОФ (без гальмівного кільця)
дальність польоту 20000 м
Джерело: розроблено авторами.

Рис. 4. Значимість факторів в напрямку для РС М-21 ОФ (без гальмівного кільця)
дальність польоту 20000 м
Джерело: розроблено авторами.

Висновки

1. Для оперених реактивних снарядів з дальностями стрільби до 20 км. необхідний облік вітру роздільно для активного та пасивного ділянок траєкторії.

2. Для реактивних снарядів, необхідний облік поправок в дальності на відхилення наземного тиску атмосфери та температури повітря.

3. Балістичні чинники роблять великий вплив на точність стрільби реактивних снарядів. Так, помилки у визначенні температури заряду можуть привести до відхилень снаряда від цілі близько 180 м.

4. Для оперених реактивних снарядів необхідне роздільне врахування поправок на зміну одиничного імпульсу тяги та відхилення ваги реактивного заряду від табличного значення (рис. 1–4).

5. Відхилення балістичних чинників від табличних приводе до відхилення швидкості снаряда від розрахункової в кінці активної ділянки траєкторії.

Існуючі методи вимірювання балістичних умов стрільби реактивних снарядів недостатньо точні. Слід вивчити можливості застосування балістичних станцій типу “Свірь-2М” для вимірювання швидкості снаряда в кінці активної ділянки траєкторії.

6. Таким чином для оперених реактивних снарядів з аеродинамічною стабілізацією система поправок повинна враховувати облік відхилень умов стрільби від табличних для:

- повздовжнього і бокового складових балістичного вітру на АДТ;
- повздовжнього і бокового складових балістичного вітру на ПДТ;
- температури повітря;
- наземного тиску атмосфери;
- температури реактивного заряду;
- ваги реактивного заряду
- пасивної ваги реактивного снаряду;
- одиничного імпульсу тяги реактивного двигуна;

Список літератури

1. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов / Ф.Р. Гантмахер, Л.М. Левин. – Х.: ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, 1949. – 308 с.
3. Равдин И.Ф. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов / И.Ф. Равдин. – Л.: ВАА, 1972. – 184 с.
4. Бурлов В.В. Баллистика ствольных систем / В.В. Бурлов, В.В. Грабин. – М.: Машиностроение, 2006. – 453 с.
5. Чурбанов В.Е. Краткий курс баллистики / В.Е. Чурбанов. – СПб.: Военмех, 2006. – 286 с.
6. Беляева С.Д. Устойчивость движения снарядов. Практические приложения теории движения снарядов относительно центра масс / С.Д. Беляева, Н.М. Монченко. – М.: Изд. МО, 1989. – 167 с.
7. Шкворников Н.П. Экспериментальная баллистика. Приборы и методы баллистических измерений / Н.П. Шкворников, Н.М. Платонов. – М.: Оборонгиз, 1953. – 1000 с.

8. Методика складання Таблиць стрільби модулюванням на ЕОМ із застосуванням експериментальних даних / В.І. Макеев, А.Ф. Раскошній, В.Є. Житник, В.М. Петренко // Системи озброєння та військова техніка. – 2018. – № 3(55). – С. 13-20. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.55.02>.
9. Вероятностные методы оценки эффективности вооружения / А. Червоний, В. Шварц, А. Козловцев, В. Чобанян. – М.: Воениздат, 1979. – 93 с.
10. Макеев В.І. Шляхи підвищення ефективності ураження цілей за рахунок покращення точності балістичної підготовки / В.І. Макеев, М.М. Ляпа // Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки. – 2020. – № 76. – С. 207-215.
11. Определение установок для стрельбы на основе решения системы дифференциальных уравнений движения летательных аппаратов [Електронний ресурс] / В.І. Макеев, В.Н. Петренко, В.Є. Житник, В.І. Гридин // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 2(34) – С. 34-37. – Режим доступу: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2188>.
12. Метод расчета характеристик рассеивания неуправляемых вращающихся и оперенных реактивных снарядов / В.І. Макеев, В.І. Грабчак, П.Е. Трофименко, Ю.І. Пушкарев // Системи обробки інформації. – 2009. – № 1(75). – С. 71-78.
13. Способы учёта влияния температуры реактивного заряда на полёт летательных аппаратов [Електронний ресурс] / В.І. Макеев, С.П. Латин, А.П. Мешков, Р.В. Сергиенко // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 1(33). – С. 27-31. – Режим доступу: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2149>.
14. Королев С.А. Исследование путей повышения дальности стрельбы ствольной артиллерии [Електронний ресурс] / С.А. Королев, А.М. Липанов, И.Г. Русак // Вестник Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. – 2018. – № 3(21). – С.185-191. – Режим доступу: <https://istu.ru/storage/documents/izdat/vestnik/vestnik-istu-2018-3-soderzhanie.pdf>.
15. Мищенко О.В. Выбор параметров твердотопливного двигателя при оптимизации траектории полета ракеты [Електронний ресурс] / О.В. Мищенко // Вестник Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. – 2016. – № 3(71). – С. 74-77. – Режим доступу: <https://istu.ru/storage/documents/izdat/vestnik/soderzhanie-vestnik-2016-3.pdf>.
16. Алиев А.В. Анализ эффективности применения газогенерирующих устройств в ствольной артиллерии [Електронний ресурс] / А.В. Алиев, К.В. Сермягин // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2014. – № 2. – С. 77-81. – Режим доступу: http://www.iraran.ru/arhiv_raran/2014/vypusk_82/.

Надійшла до редколегії 04.01.2021

Схвалена до друку 09.02.2021

Відомості про авторів:

Макеев Василь Ілліч

кандидат технічних наук доцент
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1591-9664>

Петренко Валентин Миколайович

старший викладач
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4092-4940>

Житник Віктор Євгенович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник доцент
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9669-0859>

Раскошній Андрій Федорович

кандидат військових наук
старший викладач
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4114-4855>

Information about the authors:

Vasiliy Makeyev

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1591-9664>

Valentyn Petrenko

Senior Instructor
of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4092-4940>

Viktor Zhytnyk

Candidate of Technical Sciences
Senior Research Senior Lecturer
of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9669-0859>

Andrii Raskoshnyi

Candidate of Military Sciences
Senior Instructor
of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4114-4855>

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОЛЕТ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

В.И. Макеев, В.М. Петренко, В.Е. Житник, А.Ф. Раскошный

В работе, на основе анализа возмущающих факторов, которые влияют на полет оперенных реактивных снарядов определены те возмущающие факторы, которые оказывают существенное влияние на дальность и направление полета снарядов. По результатам анализа даны рекомендации по учету метеорологических и баллистических факторов, которые необходимо включить в Таблицу стрельбы как существующих, так и перспективных реактивных снарядов.

Ключевые слова: активный участок траектории, пассивный участок траектории, единичный импульс тяги, время работы двигателя, температура реактивного заряда, вес реактивного заряда, коэффициенты регрессии.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF BALLISTIC AND METEOROLOGICAL FACTORS ON THE FLIGHT OF ROCKETS

V. Makeev, V. Petrenko, V. Zhytnyk, A. Raskoshnyi

The subject and topic of this article is to conduct studies of the influence of ballistic and meteorological factors on the flight of feathered rockets in order to develop a rational system of corrections for the class of ammunition when compiling firing Tables. The research method in determining the main disturbing factors affecting the flight of feathered rockets and the "weight" of ballistic and meteorological factors in them was carried out on the basis of mathematical methods for planning an experiment using a system of differentiated equations of motion of the center of mass of projectiles. The research method in determining the main disturbing factors affecting the flight of fledged rockets and the "weight" of ballistic and meteorological factors in them was carried out on the basis of mathematical methods for planning an experiment using a system of differentiated equations of motion of the center of shot weight. The conclusions and scope of research: on the basis of the methodology proposed in the article for determining the main disturbing factors affecting the flight of rockets, it becomes possible to substantiate a rational system of amendments, which should take into account: for rockets with aerodynamic stabilization, it is necessary to additionally take into account deviations in the weight of the reactive charge and deviations of a single thrust impulse; for feathered rockets, the wind has a significant effect within the active section of the trajectory, in addition, it is necessary to take into account both direct and cross effects of the wind on the active section of the trajectory, it is necessary to take into account the effect of wind on the passive section of the trajectory; at present, the properties of a batch of charges of reactive engines are not taken into account, the assessment carried out in the article showed the need to take into account a single thrust impulse by this factor; one of the ways to reduce errors in range due to errors in determining the temperature of the reactive charge is the use of propellants in reactive engines with low sensitivity to temperature deviation. The technique proposed in the article can be the basis for compiling firing tables for both existing and prospective shells (mines).

Keywords: active section of the trajectory, passive section of the trajectory, single thrust impulse, engine operation time, reactive charge temperature, reactive charge weight, regression coefficients.