

УДК 623.546

МАКЕСЬ В. І., канд. техн. наук (Сумський державний університет, м. Суми),
ПУШКАРЬОВ Ю. І., канд. військ. наук (Сумський державний університет, м. Суми),
МАРТИНЕНКО С. А., канд. техн. наук (Львівська академія Сухопутних військ, м. Львів),
ПОНОМАРЕНКО С. О., канд. техн. наук (Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ)

ПРО ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ ТАБЛИЦЬ СТРІЛЬБИ

У статті показана можливість підвищення точності складання таблиць стрільби за рахунок більш детально-го врахування калібру артилерійських боеприпасів, типів цілей та дальності стрільби, що дозволяє уникнути значних похибок при підготовці установок для стрільби.

В статье показана возможность повышения точности составления таблиц стрельбы за счет более точного учёта калибра артиллерийских боеприпасов, типов целей и дальности стрельбы, что позволяет избежать существенных ошибок при подготовке установок для стрельбы.

The current method of tabulation shooting (TS) can be described as experimental and theoretical elements as trajectory calculations, amendments and other data TS exercise methods developed in exterior ballistics [1,2,7] but for calculations using experimental values of several parameters determined based on the relatively small number of firings. At the time of the TC engaged in a dedicated training ground, excluding power ammunition type goals, results averaged for all accepted range, which can lead to significant errors in the preparation of facilities for shooting. Ignorance is specific accuracy requirements can lead to insufficient assembly precision TC. In this regard, the purpose of the article is to develop standards for accuracy tabulations shooting.

Підвищення точності таблиць стрільби (ТС) є одним із центральних питань всіх робіт з їх складання. Точність ТС визначається, в основному, випадковими похибками, які, зазвичай, підпорядковані нормальному закону і оцінюються за допомогою серединних похибок $E_{ТС}$. Для кожної конкретної, окремо взятої стрільби похибки ТС виступають як систематичні (повторювані), причому деякі з них можуть бути присутніми постійно. Так, наприклад, якщо основна залежність ТС на дальності 10 км має похибку 20 м, то скільки б не проводилася стрільба на цю дальність, така ж похибка буде присутня в установках прицілу. Тому, коли як міру точності ТС використовують серединні похибки, завжди мають на увазі багаторазове використання ТС в різних умовах, для різної дальності і різних артилерійських систем, при використанні для стрільб багатьох партій снарядів і зарядів.

У статті висвітлюються такі два питання щодо точності ТС:

якою має бути конкретна точність ТС і як можна визначити вимоги до цього параметра;

з чого складаються похибки ТС і яким шляхом визначаються характеристики точності ТС.

Точність ТС за дальністю визначається точністю основної табличної залежності (залежність табличної дальності від табличного кута прицілювання) і від точності табличних поправочних даних. Точність визначення табличної дальності відповідно до прийнятої методики складання ТС залежить від: точності визначення дослідної дальності (дальність під час проведення випробувальних стрільб), точності нормалізації при визначенні дослідної дальності та точності розрахунку табличної дальності. Розглянемо точність ТС, при складанні яких використані балістичні збірники [2, 7, 10].

1. Похибки дослідної дальності визначаються серединним відхиленням B_0 , що характеризує розсіюванням снарядів за дальністю, у порівнянні з яким похибки вимірювання координат розривів є малими (для методу засічок вони не перевищують 2 м). З урахуванням того, що в середньому $B_0 = 0,5\% X$ [11] і що дослідна дальність визначається на підставі групи $n = 5 \dots 7$ пострілів,

серединна похибка визначення дослідної дальності за результатами одноразової стрільби $E_{X_{оп}}$ визначається за формулою

$$E_{X_{оп}} = \frac{B\delta}{\sqrt{n}} \approx 0,2\% X. \quad (1)$$

Тобто для кожного кута кидання вона становить близько 0,2% дальності стрільби X .

2. Серединна похибка визначення нормалізованої дальності за результатами одного пострілу $E_{X_{1норм}}$ визначається за співвідношенням

$$E_{X_{1норм}} = \sqrt{E_{X_{оп}}^2 + \sum E_{X_i}^2}, \quad (2)$$

де $E_{X_i}^2$ – середнє значення окремих похибок дальності, обумовлених похибками визначення балістичних і метеорологічних умов дослідних стрільб та похибками методу обчислення поправок для приведення результатів дослідних стрільб до нормальних умов (передбачається, що всі похибки незалежні і розподілені за нормальним законом).

а) Серединна похибка вимірювання початкової швидкості снарядів v_0 за результатами однієї групи пострілів ($n = 5 \dots 7$) становить $E_{v_0} = 0,15\% v_0$ [10]. Цій серединній похибці у визначенні початкової швидкості відповідає серединна похибка у визначенні дальності $E_{X_{v_0}} = 0,15\% X$;

б) Серединна похибка в дальності $E_{X_{\theta_0}}$ через похибки кута кидання θ_0 складається з серединної похибки в дальності через похибки визначення кута піднесення φ по квадранту $E_{\varphi} = 2',3$ (з урахуванням похибки непаралельності контрольного майданчика до осі каналу ствола) і серединної похибки в дальності $E_{\gamma} = 1',2$ через похибки визначення вертикальної складової кута вильоту γ [11]:

$$E_{X_{\theta_0}} = \sqrt{E_{\varphi}^2 + E_{\gamma}^2} = \sqrt{2,3^2 + 1,2^2} = 2',6.$$

Цій похибці кута кидання відповідають серединні похибки в дальності: при малих кутах кидання порядку $5 \dots 10^\circ$ – $E_{X_{\theta_0}} = (0,60 \dots 0,85)\% X$, а при кутах кидання понад 25° – $E_{X_{\theta_0}}$ менше $0,1\% X$ [7].

в) Серединні похибки визначення метеорологічних умов стрільби, тобто серединні похибки визначення атмосферного тиску E_{h_0} , балістичного відхилення температури $E_{\Delta T_6}$ і подовжнього балістичного вітру $E_{w_{x_6}}$ мають, відповідно, такі значення [11]: $E_{h_0} = 0,5$ мм рт. ст.; $E_{\Delta T_6} = 1,5^\circ\text{C}$; $E_{w_{x_6}} = 0,65$ м/с.

Зазначеним серединним похибкам у визначенні метеорологічних елементів відповідають такі величини похибок дальності [11]:

$$E_{X_{h_0}} = (0,01 \dots 0,04)\% X;$$

$$E_{X_{\Delta T_6}} = (0,03 \dots 0,12)\% X;$$

$$E_{X_{w_x}} = (0,04 \dots 0,21)\% X.$$

г) Похибки методу обчислення поправок за допомогою таблиць поправочних коефіцієнтів в середньому складають 5% від величини поправки і викликані, головним чином, неточним урахуванням опору повітря для даного снаряда при обчисленні поправочних коефіцієнтів за дослідним значенням балістичного коефіцієнта як коефіцієнта узгодження дальності [7].

д) Сумарна серединна похибка нормалізованої дальності за результатами однієї стрільби для кутів кидання в межах від 10 до 60° у середньому становить $E_{X_{1норм}} = 0,37\% X$. При малих кутах кидання (близько 5%) ця похибка приблизно в півтора разу більша [10].

3. Оскільки дослідні стрільби повторюються, як правило, трикратно при одному куті кидання, то, з урахуванням $E_{X_{1норм}} = 0,37\% X$ і $N = 3$, сумарна серединна похибка визначення опорної дальності становитиме

$$E_{X_{оп}} = \frac{E_{X_{1норм}}}{\sqrt{N}} \approx 0,2\% X. \quad (3)$$

4. При розрахунках табличної дальності виникають додаткові похибки, що виникають через неточності розрахунків за балістичним збірником (обумовлені похибками самого збірника і похибками інтерполяції), а також через похибки графічної побудови залежностей $c = f_1(\theta_0)$ і $X = f_2(\theta_0)$. Похибки табличної дальності визначаються підсумовуванням похибки опорної дальності і похибки розрахунків табличної дальності за формулою

$$E_{X_{табл}} = \sqrt{E_{X_{оп}}^2 + E_{X_{расч}}^2}. \quad (4)$$

За існуючою методикою відстрілу ТС для кутів кидання у межах $10 \dots 45^\circ$ в середньому становлять $0,3 \dots 0,5\% X$ [2, 7, 10].

5. Серединні похибки табличних поправок за напрямком у середньому складають 5% від величини поправки [10].

Похибки за дальністю через похибки складання ТС при існуючому способі їх визначення наведені в табл. 1.

Вимоги до точності таблиць стрільби

Похибки ТС є складовими похибок повної підготовки. Якщо припустити, що точність повної підготовки стрільби зменшена на $5 \dots 7\%$, і якщо вважати, що серединна похибка повної підготовки за дальністю складає близько $1\% X$, то серединні похибки ТС $E_{ТС}$ повинні бути не гірші $0,3 \dots 0,5\% X$ [2,

Таблиця 1. Похибки за дальністю через похибки складання ТС при $E_{Хмс} = 0,5\% X$

Системи	Дальність стрільби, км															
	5	7	9	10	13	15	17	20	22	24	26	28	30	34	36	37
122-мм ГД-30, 122-мм СГ 2С1	25	35	45	50	65	75										
152-мм СГ 2С3	25	35	45	50	65	75	85									
152-мм П 2А36, 152-мм СП 2С5	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120	130	140				
152-мм Г2А65	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120						
203-мм СП 2С7	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120	130	140	150	170	180	185
240-мм СМ 2С4	25	35	45													
120-мм М 2С12	25															
БМ-21 „Град”	25	35	45	50	65	75	85	100								
РСЗВ „Ураган”	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120	130	140	150	170	180	

7, 10]. Ці значення близькі до середніх вимог, але вони занадто усереднені і відірвані від конкретних ситуацій. Дійсно, вимоги з точності ТС повинні залежати від особливостей артилерійської системи з погляду як її технічних (купчастість, дальність, потужність боеприпасів тощо), так і тактичних характеристик (типові цілі, час, що відводиться на підготовку пострілу і т. д.). Незнання ж конкретних вимог до точності може призвести до складання недостатньо точних ТС або, навпаки, до забезпечення зайвої (яка не потрібна) точності артилерійської системи.

Найбільш природним критерієм для визначення вимог до точності ТС є математичне сподівання $M[a]$ (ймовірність P) ураження цілі [11].

Обґрунтування вимог до точності складання таблиць стрільби

Як оціночні критерії необхідної точності складання ТС приймемо відносну зміну показників ефективності стрільби $\Delta M(\Delta P)$. При цьому розрахунок оціночного критерію включає такі кроки (І спосіб):

розрахунок значення показника ефективності стрільби для випадку, коли похибки у визначенні ТС відсутні $M_0[a](P_0)$;

визначення величини показника ефективності для прийнятого значення точності ТС $M[a](P)$;

по знайденому значенню показника ефективності обчислюється його відносна зміна

$$\Delta M = \frac{M[a]}{M_0[a]} - 1; \quad \Delta P = \frac{P}{P_0} - 1. \quad (5)$$

Точність ТС вважається достатньою, якщо виконується умова $\Delta M(\Delta P) \leq 0,5\%$ [5, 7].

З теорії стрільби відомо, що похибки у визначенні похибок ТС впливають на похибки підготовки даних для стрільби за дальністю і напрямком.

а) Визначення ймовірності та математичного сподівання ураження цілі за допомогою таблиць $F(\beta)$.

Ймовірність ураження цілі визначається за формулою [11]

$$P = 1 - 4 \sum_{j=0}^{5E_z} Q(z_j) \sum_{i=0}^{5E_x} Q(x_i) q(x_i z_j), \quad (6)$$

де $Q(x_i) = F\left(\frac{x_i + 0,5\Delta x}{E_x}\right) - F\left(\frac{x_i - 0,5\Delta x}{E_x}\right)$;

$$Q(z_j) = F\left(\frac{z_j + 0,5\Delta z}{E_z}\right) - F\left(\frac{z_j - 0,5\Delta z}{E_z}\right);$$

$$q(x_i z_j) = \{1 - [F\left(\frac{x_i + l}{B_a}\right) - F\left(\frac{x_i - l}{B_a}\right)] \cdot$$

$$\cdot [F\left(\frac{z_j + m}{B_a}\right) - F\left(\frac{z_j - m}{B_a}\right)]\}^N.$$

Математичне сподівання визначається за залежністю [11]:

$$M[a] = 100 \frac{S_n N \varepsilon(t)}{\Gamma_{\text{ц}} \Phi_{\text{ц}}} \Phi\left(\frac{0,5\Gamma_{\text{ц}}}{E_{\text{хд}}}\right) \Phi\left(\frac{0,5\Phi_{\text{ц}}}{E_{\text{зд}}}\right) \quad (7)$$

де S_n – приведена зона ураження; l , m – наведені розміри цілі за фронтом і глибиною; N – витрата снарядів на ціль (або на 1 га); $\varepsilon(t)$ – таблична функція [11]; $\Gamma_{\text{ц}}$ – глибина цілі; $\Phi_{\text{ц}}$ – фронт цілі;

$$E_{\text{хд}} = \sqrt{E_x^2 + E_{x_l}^2}; \quad E_{\text{зд}} = \sqrt{E_z^2 + E_{z_l}^2}; \quad (8)$$

де E_x , E_z – похибки підготовки установок за дальністю і напрямком;

$E_{x_l} = B_{\delta} \sqrt{\lambda(t)}$, $E_{z_l} = B_{\phi} \sqrt{\lambda(t)}$; B_{δ} , B_{ϕ} – характеристики розсіювання снарядів по дальності і напрямку; $\lambda(t)$ – таблична функція [11].

Похибки підготовки установок по дальності і напрямку можна подати у вигляді

$$E_X^2 = E_{X_n}^2 + E_{X_{TC}}^2; E_Z^2 = E_{Z_n}^2 + E_{Z_{TC}}^2 \quad (9)$$

де E_{X_n}, E_{Z_n} – похибки підготовки установок для стрільби по дальності і напрямку без урахування похибок ТС; $E_{X_{TC}}, E_{Z_{TC}}$ – похибки ТС по дальності і напрямку.

б) Визначення математичного сподівання (ймовірності) ураження цілі на основі ідеальної щільності обстрілу [11]

$$M[a] = \frac{N \tau_2 S_n}{E_{x_{\Gamma}} E_{z_{\Phi}}}; \quad (10)$$

де $E_{x_{\Gamma}} = \sqrt{E_x^2 + 0,038 \Gamma \psi^2}$;

$E_{z_{\Phi}} = \sqrt{E_z^2 + 0,038 \Phi \psi^2}$ – серединні похибки підготовки за дальністю і напрямком з урахуванням розмірів групової цілі. Сумарні середні похибки підготовки установок можна подати у вигляді

$$E_x^2 = E_{X_n}^2 + E_{X_{TC}}^2; E_z^2 = E_{Z_n}^2 + E_{Z_{TC}}^2,$$

де E_{X_n}, E_{Z_n} – серединні похибки підготовки установок за дальністю і напрямком без урахування похибок ТС;

$E_{X_{TC}}, E_{Z_{TC}}$ – серединні похибки ТС за дальністю і напрямком; τ_2 – таблична функція [11].

Позначимо через $M_0[a]$ математичне сподівання ураження цілі при відсутності похибок ТС, тобто $E_{X_{TC}} = 0$, $E_{Z_{TC}} = 0$; а через $M[a]$ – математичне сподівання ураження цілі при наявності похибок ТС (похибки ТС варіюються від 0 до 0,5% X дальності стрільби) тоді

$$M[a] = M_0[a] + \Delta M_{TC}. \quad (11)$$

Коли похибки ТС рівняються 0, $M_0[a]$ визначається з виразу

$$M_0[a] = \frac{N_0 \tau S_n}{E_{x_{\Gamma}} E_{z_{\Phi}}}, \quad (12)$$

тоді

$$\frac{M[a]}{M_0[a]} = 1 + \frac{\Delta M_{TC}}{M_0[a]} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{E_{x_{\Gamma}}}{E_{X_{TC}}}\right)^2\right] \left[1 + \left(\frac{E_{z_{\Phi}}}{E_{Z_{TC}}}\right)^2\right]} \quad (13)$$

або

$$\frac{\Delta M_{TC}}{M_0[a]} = 0,5 \left[\left(\frac{E_{x_{\Gamma}}}{E_{X_{TC}}}\right)^2 + \left(\frac{E_{z_{\Phi}}}{E_{Z_{TC}}}\right)^2 \right]. \quad (14)$$

Звідси

$$E_{X_{TC}} = E_{x_{\Gamma}} \sqrt{2 \frac{M_0[a]}{\Delta M_{TC}}}; E_{Z_{TC}} = E_{z_{\Gamma}} \sqrt{2 \frac{M_0[a]}{\Delta M_{TC}}}. \quad (15)$$

Ймовірність ураження цілі $P(P_0)$ розраховується за формулами (10), (12), тільки замість $M[a]$ ($M_0[a]$) ставиться, відповідно, ймовірність $P(P_0)$.

Дане завдання вирішується в такій послідовності:

1) визначається перелік типів цілей (згідно з Правилами стрільби і управління вогнем) [11]. По кожній цілі задається ступінь ураження цілі ($M[a], P$), розміри цілі, дальність стрільби;

2) визначається приведена зона ураження даної цілі S_n ;

3) для кожної цілі і дальності розраховуються середні похибки підготовки установок E_x, E_z – з урахуванням похибок ТС і E_{X_n}, E_{Z_n} – серединна похибка підготовки установок без врахування похибок ТС;

4) розраховуються показники ефективності $M[a]$ – коли точність ТС задана (варіюється від 0,1% до 0,5% X) і $M_0[a]$ – коли $E_{X_{TC}} = 0$, $E_{Z_{TC}} = 0$.

Результати розрахунків похибок ТС за вказаною методикою за умови, що зниження рівня показника ефективності буде не нижче $\Delta M[a] / \Delta P \leq 0,5\%$, наведені в табл. 2.

II спосіб. Нехай значення критерію оцінки точності способу складання ТС буде достатнім, якщо відносно збільшення витрати снарядів становить $\Delta N \leq 4\%$ (відомо, що зміна показника ефективності на 1% відповідає зміні витрати снарядів на 7%) [11]. Витрата снарядів визначається за формулою [11]

$$N = K_2 \frac{E_{x_{\Gamma}} E_{z_{\Phi}}}{\tau_2 S_n}, \quad (16)$$

де N – витрата снарядів, що забезпечує ураження цілі з необхідним значенням показника ефективності стрільби; K_2 – коефіцієнт, що залежить від рівня показника ефективності стрільби [11]; $E_{x_{\Gamma}}, E_{z_{\Phi}}$ – зведені серединні похибки способу визначення установок для стрільби на ураження з урахуванням розмірів групової цілі; τ_2 – коефіцієнт, що враховує вплив розсіювання снарядів; S_n – приведена зона ураження окремої цілі.

Величини $E_{x_{\Gamma}}, E_{z_{\Phi}}$ визначаються за формулами

$$E_{x_{\Gamma}} = \sqrt{E_x^2 + 0,038 \Gamma^2}; E_{z_{\Phi}} = \sqrt{E_z^2 + 0,038 \Phi^2}, \quad (17)$$

де E_x, E_z – зведені серединні похибки способу визначення установок для стрільби на ураження;

Таблиця 2. Серединні похибки таблиць стрільби для різних артилерійських систем і дальності стрільби

Артилерійська система	$E_{xTC}, \%$																
	Дальність стрільби X , км																
	5	7	9	10	13	15	17	20	22	24	26	28	30	34	36	37	40
122-мм Г Д-30	0,47	0,43	0,39	0,37	0,36	0,35											
122-мм СГ 2С1	0,48	0,44	0,40	0,38	0,37	0,35											
152-мм СГ 2С3	0,46	0,43	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33										
152-мм П 2А36	0,49	0,47	0,45	0,41	0,39	0,35	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25					
152-мм Г 2А65	0,48	0,46	0,44	0,40	0,38	0,36	0,34	0,31	0,28	0,27	0,25	0,24					
152-мм СГ 2С19	0,46	0,44	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,29	0,25	0,23							
203-мм СП 2С7	0,41	0,38	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,20	0,19	
240-мм СМ 2С4	0,39	0,34															
БМ 21 „Град”	0,42	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,31	0,30									
РСЗВ „Ураган”	0,49	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29		
120-мм М 2С12	0,41	0,35															

Γ, Φ – розміри групової цілі за глибиною і фронтом відповідно.

Нехай E_x, E_z визначаються за формулами

$$E_x^2 = E_{x_n}^2 + E_{x_{TC}}^2; \quad E_z^2 = E_{z_n}^2 + E_{z_{TC}}^2, \quad (18)$$

де E_{x_n}, E_{z_n} – серединні відхилення, що обумовлені похибками підготовки стрільби, без врахування похибок ТС; $E_{x_{TC}}, E_{z_{TC}}$ – серединні відхилення, обумовлені похибками складання таблиць стрільби;

$$E_{x_n}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dx}{d\lambda_i} E_{\lambda_i} \right)^2; \quad E_{z_n}^2 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{dz}{d\lambda_j} E_{\lambda_j} \right)^2, \quad (19)$$

де λ_i, λ_j – похибки підготовки за дальністю і напрямком відповідно, не пов’язані з похибками складання ТС. Перепишемо формулу (16) у вигляді

$$N = \frac{K_2}{\tau_2 S n} \sqrt{(E_{x_r}^2 + E_{x_{TC}}^2)(E_{z_\phi}^2 + E_{z_{TC}}^2)}. \quad (20)$$

Нехай N_0 – витрата снарядів при відсутності похибок ТС ($E_{x_{TC}}^2 = E_{z_{TC}}^2 = 0$), а N – витрата снарядів при наявності похибок ТС, $N = N_0 + \Delta N_{TC}$. Тоді

$$N = \frac{K_2}{\tau_2 S n} E_{x_r} E_{z_\phi};$$

$$\frac{N}{N_0} = 1 + \frac{\Delta N_{TC}}{N_0} = \sqrt{\left[1 + \left(\frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2 \right]}.$$

Можна показати, що другі складові в кожній квадратній дужці менше 0,15. Тому можна знехтувати їх множенням (воно приблизно дорівнює 0,02). Після цього остання формула набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} 1 + \frac{\Delta N_{TC}}{N_0} &= \sqrt{1 + \left(\frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2 + \left(\frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2} \approx \\ &\approx 1 + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2 + \left(\frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2 \right], \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta N_{TC}}{N_0} = 0,5 \left[\left(\frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2 + \left(\frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2 \right]. \quad (21)$$

Таким чином, формула (21) зв’язує відносну зміну витрати снарядів з відносними похибками ТС. Із цієї формули випливає таке правило: сума квадратів відношень похибок ТС до наведених похибок повної підготовки дорівнює подвоєному відношенню збільшення витрати снарядів за рахунок похибок ТС.

Розрахунки, що проведені другим способом для прийнятого критерію ($\Delta N \leq 4\% X$), показали, що на дальності стрільби 5...15 км точність ТС становить $E_{x_{TC}} = 0,45...0,35\% X$, на дальності 16...37 км – $E_{x_{TC}} = 0,36...0,21\% X$. Ці результати добре узгоджуються з результатами розрахунків точності похибок ТС за першим способом.

Для визначення характеристик точності таблиць стрільби від дальності стрільби можна скористатись таким алгоритмом розрахунків:

1) складається перелік типових цілей, призначених для ураження даною артилерійською гарматою, визначаються їх розміри (Φ і Γ) і віддалення від вогневої позиції із зазначенням ймовірностей їх появи на різній дальності;

2) для кожної цілі при фіксованій дальності стрільби розраховуються наведені помилки підготовки за формулами (19);

3) визначається приведена зона ураження даної цілі S_n [11];

4) оскільки рівняння (21) містить два невідомі $E_{x_{TC}}$ і $E_{z_{TC}}$, то необхідно задатися будь-яким співвідношенням між ними, або значенням одного

з них. Так як найбільш важко забезпечити необхідне значення Ex_{TC} , то часто припускається рівність нулю другої складової всередині квадратних дужок у рівнянні (21).

За таких припущень завдання може бути вирішене однозначно:

$$Ex_{TC} = Ex_{\Gamma} \sqrt{2 \frac{\Delta N_{TC}}{N_0}} \quad (22)$$

або

$$\frac{Ex_{TC}}{X} = \frac{Ex_{\Gamma}}{X} \sqrt{2 \frac{\Delta N_{TC}}{N_0}}. \quad (23)$$

Значення $\frac{\Delta N_{TC}}{N_0}$ задається в межах 0,03...0,07, що відповідає зміні показника ефективності стрільби не більше ніж на 1% [5]. При середньому значенні відношення $\frac{\Delta N_{TC}}{N_0} = 0,05$ будемо мати

$$\frac{Ex_{TC}}{X} = 0,32 \frac{Ex_{\Gamma}}{X} \approx \frac{Ex_{\Gamma}}{3X}; \quad (24)$$

5) для вибраної дальності підраховується середньозважена похибка $\frac{Ex_{TC}}{X}$ по всіх цілях, поява яких можлива на даній дальності (як коефіцієнти можуть бути прийняті ймовірності їх появи):

$$\left(\frac{Ex_{TC}}{X} \right)_{cp} = \frac{1}{\sum_{k=1}^U P_K} \sum_{k=1}^U P_K \left(\frac{Ex_{TC}}{X} \right)_K, \quad (25)$$

де U – загальне число цілей; P_K – ймовірність появи k -ї цілі на розглянутій дальності; $\frac{Ex_{TC}}{X}$ – допустима відносна похибка ТС для k -ї цілі;

б) розрахунки за пп. 2...4 повторюються для іншої дальності стрільби.

Отримані результати зводяться в таблицю (або наносяться на графіки), які за змістом та видом відповідають табл. 2.

Проведені розрахунки дозволяють зробити такі висновки:

1. Допустимі похибки ТС залежать від дальності: з її збільшенням необхідна відносна точність зростає в 1,5...2 рази (табл. 3 і рис. 1).

2. Припустимі похибки ТС залежать від типу снарядів. Якщо для 122-мм гаубиці і 152-мм гармати-гаубиці вони приблизно однакові, то вимоги з точності ТС для 130-мм гармати істотно вищі. Це пояснюється впливом багатьох факторів, врахування яких без проведення описаних вище розрахунків практично неможливо.

3. При складанні ТС, особливо при плануванні табличних стрільб, необхідно передбачати заходи, що спрямовані на досягнення необхідної конкретної точності для даної артилерійської системи.

Похибки ТС виникають і накопичуються на всіх етапах складання таблиць. Похибки ТС поділяються на дві категорії: похибки основних і поправочних залежностей. Схематична класифікація похибок ТС показана на рис. 2.

Похибки основної табличної залежності є визначальними. На рис. 2 показано, що вони структурно складаються з двох груп: похибок визначення опорної дальності (тобто усередненої дослідної дальності) і похибок розрахунків основної залежності.

Таблиця 3. Серединні похибки таблиць стрільби в залежності від дальності стрільби

Артилерійська система	$Ex_{TC} \% X$						
	Дальність стрільби X , км						
	6	8	10	12	16	20	26
122-мм гаубиця	0,45	0,38	0,35	0,33	-	-	-
130-мм гармата	0,35	0,30	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21
152-мм гармата-гаубиця	0,43	0,37	0,34	0,31	0,29	-	-

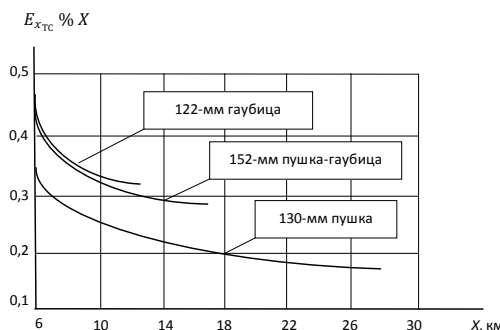


Рис. 1. Характеристики точності складання таблиць стрільби



Рис. 2. Похибки складання таблиць стрільби

Похибка кожної опорної дальності складається з похибок осереднених дослідних дальностей кожної групи пострілів $E_{гр}$ і похибок їх нормалізації (мають систематичний характер) Ex_c . Сумарна похибка опорної дальності за рахунок похибок цих двох груп має вигляд

$$E_{оп} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{E_{гр}^2 + E_{xc}^2}, \quad (26)$$

де N – число груп.

Ця формула вірна для будь-якої координати. Так, для абсциси x формула (26) має такий вигляд:

$$Ex_{оп} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{E_{x_{гр}}^2 + E_{xc}^2}. \quad (27)$$

Похибка $E_{гр}$ включає дві складові: похибку технічного розсіювання і похибку за рахунок неточного знання координат точок падіння (розривів) $E_{изм}$. Однак система вимірювання цих координат така, що $E_{изм} \ll B_d \approx B_o \approx B_e$ [10]. Тому можна вважати

$$E_{гр} \approx \frac{B_d}{\sqrt{n}} \approx \frac{B_o}{\sqrt{n}} \approx \frac{B_e}{\sqrt{n}}. \quad (28)$$

Цю рівність можна виразити так:

$$Ex_{оп} = \sqrt{\frac{B_o^2}{nN} + \frac{E_{xc}^2}{N}}. \quad (29)$$

Аналогічні залежності неважко скласти для похибок і за двома іншими координатами, а також для похибок дистанційних відстрілів.

Існує і третя складова похибки визначення опорної дальності – похибка невідповідності дослідного матеріалу $E_{нп}$, що викликана тим, що як гармата (пускова установка, міномет), так і боєприпаси (снаряди, набої, підіривники тощо), які використані при табличних відстрілах, не відображають особливості всіх зразків артилерійських систем і боєприпасів, що знаходяться у військах.

Наприклад, може виявитися, що окремі партії снарядів, навіть виготовлені одним і тим же

заводом, розрізняються станом поверхні або якістю ведучих поясів, внаслідок чого у них будуть різні дальності стрільби. ТС повинні відповідати всій подібній продукції в середньому. Завдяки такому усередненню і виникає похибка невідповідності дослідного матеріалу. Її величина і функціональні зв'язки мало відомі. Тим не менш, почасти через побоювання, що вона може виявитися значною, повні ТС завжди складаються двічі: спочатку при прийнятті зразка на озброєння – тимчасові ТС, потім, через декілька років, коли є впевненість у доброму налагодженні всього процесу виробництва і, отже, у стабільності характеристик продукції – постійні ТС. Крім того, з метою максимального усереднення цих характеристик рекомендується при складанні постійних ТС залучати результати відстрілів інших партій снарядів, набоїв і т. п.

З урахуванням викладеного повна формула для похибки опорної дальності може бути записана в більш загальному вигляді:

$$E_{оп} = \sqrt{\frac{E_{гр}^2 + E_c^2}{N}} + E_{нп}. \quad (30)$$

У цій формулі визначальну роль відіграють похибки нормалізації Ex_c , що повторюються для кожної групи пострілів. Їх дослідне визначення здійснюється зазвичай при $N = 3...5$. У формулу для знаходження Ex_c входять часткові похідні дальності (або інших координат), що самі істотно залежать від дальності, а тому й похибки Ex_c є значущими функціями дальності.

Максимальні відносні величини Ex_c , зазвичай, відповідають найменшій дальності стрільби, де вони досягають значення 0,8...1% X; у міру збільшення дальності ці похибки зменшуються до 0,3...0,4% X – на середній і великій дальності. У

районі максимальної дальності E_{x_c} знову зростають до $0,4...0,6\% X$ [7, 10].

Зниження цих головних складових похибок ТС можливе тільки за рахунок підвищення точності вимірювання початкових швидкостей, кутів вильоту, метеорологічних параметрів безпосередньо під час стрільби, а питому вагу E_c у сумарному значенні можна зменшити за допомогою збільшення числа N повторних стрільб у різні дні.

Похибки в напрямку E_{z_c} змінюються залежно від дальності мало і мають, зазвичай, величину, що близька до $0,2...0,3\% X$ [10].

Похибка усередненої дослідної дальності E_{z_c} залежить виключно від характеристик купчастості і числа пострілів у групах і за дальністю коливається приблизно від $0,1$ до $0,3\% X$, а за напрямком має мале значення, яким нехтують [10].

З урахуванням того, що непередставницька похибка E_{np} для постійних ТС має вельми малі значення, можна зробити висновок, що серединні похибки $E_{оп}$ опорної дальності (за дальністю) з урахуванням триразового повторення стрільб мають для малої дальності стрільби значення $0,45...0,6\% X$, проміжних – $0,2...0,3\% X$ і для максимальних – $0,3...0,4\% X$ [10]. Ці значення повинні розглядатися як орієнтовні, оскільки вони можуть сильно відрізнятися для різних артилерійських систем, при різних програмах відстрілу і характеристиках вимірювальної апаратури, що використовується при відстрілах ТС.

Похибки розрахунків основної залежності ТС складаються, в основному, з похибок узгодження, розрахунку опорної сітки та поширення її елементів на всі табличні дальності.

Узгодження, зазвичай, проводиться аналітичним (а не графічним) методом, тобто підбирається поліном $i(V_0, \Theta_0)$ достатньою високого степеня, що виражає залежність коефіцієнта форми від початкової швидкості і кута кидання, який у певному сенсі (найменших квадратів відхилень) є найкращим. Цей поліном не повністю збігається з дійсною (об'єктивно існуючою) залежністю $i_d(V_0, \Theta_0)$ відхилення i від i_d , тому похибки апроксимації є джерелом похибок основної залежності.

Джерелами похибок узгодження і апроксимація є: система диференціальних рівнянь (СДР), що використовується під час узгодження, не може бути цілком точною, тому коефіцієнти узгодження форми, що знайдені для кожної опорної дальності, містять похибки. Ці похибки виникають як через

неповноту СДР та похибки різних функцій і параметрів, що використовуються при обчисленнях (наприклад, аеродинамічні функції, в першу чергу – лобового опору $C_{x_c}(M)$), так і через відсутність відомостей про значення деяких величин, що входять в СДР (початкові кути нутації і швидкості, їх варіації при кожному пострілі та ін.);

сама апроксимуюча функція (поліном), що вносить свої похибки в i .

Отримані згладжені значення коефіцієнта форми використовуються для розрахунку (шляхом інтегрування СДУ) кількох опорних табличних дальностей, що створюють шкалу або сітку, яка згодом поширюється на всі табличні дальності. Ці розрахунки також є джерелом похибок, які призводять до появи нових похибок по дальності, а, отже, і похибок ТС.

Для розрахунків основної табличної залежності (дальність – кут прицілювання) згадану вище шкалу або сітку дальності послідовно апроксимують декількома поліномами; за аргумент вибирається дальність. Зазначена апроксимація вносить додаткові похибки в основну табличну залежність.

Загальна похибка основної табличної залежності може бути визначена за формулою

$$E_{o.з.} = \sqrt{E_{оп}^2 + E_p^2}, \quad (31)$$

де E_p – похибка розрахунків, зазвичай лежить у межах $0,2 ... 0,3\% X$ [7, 10].

Загальна похибка основної залежності $E_{o.з.}$ описується тими ж закономірностями, що і $E_{оп}$ а її значення по дальності з урахуванням E_p може знаходитись у таких межах: для малої дальності – $0,55 ... 0,65\% X$, середньої – $0,3 ... 0,4\% X$, максимальної – $0,35 ... 0,45\% X$ [7, 10].

Похибки поправочних граф ТС. Так як поправки є малими величинами, то більшість з розглянутих вище похибок до поправок не мають помітної ваги. Виняток становлять похибки, що виникають внаслідок значних неточностей функції лобового опору $C_{x_c}(M)$ (наприклад, еталонної), а також похибки табличних поправок, що викликані їх лінеаризацією.

Похибки через неточності визначення функції $C_{x_c}(M)$. Пояснюються тим, що коефіцієнт узгодження підбирається тільки для одного (узгоджуваного) параметра траєкторії, а всі інші параметри залишаються неузгодженими. Хоча розрахункові і дослідні значення узгодженого параметра практично збігаються, сама розрахункова

траєкторія відрізняється від дійсної. При цьому вплив різних факторів збурення, що діють уздовж реальної траєкторії, оцінюється в розрахунках з деякими похибками. Тому і відповідні поправки визначаються з похибками. Оцінити ці поправки можна, дуже наближено, по нестабільності (розмаху) коефіцієнта форми для даного снаряда: вважають, що на кожні 5% розмаху похибка поправок становить $E_n = 0,1\% X$ [10].

Похибки із-за нелінійності поправок $E_{нл}$ можуть мати місце, коли в таблицях стрільби використовуються тільки лінійні поправки. Розрізняють два типи цих похибок: похибки із-за несиметричності та взаємопов'язаності.

Несиметричність – нелінійність впливу одного фактора, яка проявляється у різному впливі його відхилень в напрямках „+” і „–”. Взаємопов'язаність – залежність впливу одного фактора збурення від величини іншого. Обидва різновиди похибок мають один порядок. У якості допустимих на практиці можна приймати $E_{нл} 0,1 \dots 0,2\% X$ [10], але при великих відхиленнях метеорологічних і балістичних чинників (особливо взимку) ці похибки можуть бути значними [8, 9].

В цілому, похибки поправочних граф не можуть істотно вплинути на сумарні помилки ТС, та все ж обидві розглянуті категорії цих похибок поправок не можна залишати без уваги, бо вони можуть раптово проявитися під час стрільби в екстремальних умовах. Їх слід спеціально перевіряти в особливих умовах – в холодному і жаркому кліматі, в гірській місцевості і т.п. Для цього необхідно знайти нелінійні поправочні коефіцієнти, а потім обчислити нелінійні частини поправок для екстремальних умов і визначити частку в загальній похибці ТС. При цих розрахунках можна вважати, що похибки ТС $E_{ТС}$ практично повністю визначаються похибками основної залежності $E_{оз}$.

Якщо прийняти як припущення, що спосіб буде доцільний у тому випадку, коли відносне збільшення показника ефективності $\Delta M[a] \Delta P \geq 10\%$ [15], тоді розрахунок відносного значення показників ефективності по залежностях (5) показує, що для забезпечення необхідної точності ТС (табл. 2) необхідно:

1. Визначити метеорологічні чинники за допомогою метеорологічного бюлетеня „метеосередній” (бюлетень складений метеокомплексом МРК-1, який знаходиться на озброєнні військових частин) з давністю 1 година, при цьому точність

визначення метеорологічних і балістичних чинників повинна становити [8, 9, 10, 11]: температури повітря – $E_{\delta T} = 1,2^\circ C$; вітру – $E_{\delta W_x} = E_{\delta W_z} = 1,5$ м/с; тиску атмосфери – $E_{\delta \Delta H} = 1,0$ мм.рт.ст.; сумарного відхилення початкової швидкості снарядів, що визначена з допомоги балістичної станції – $E_{\delta V_{сум}} = 0,15 V_0$; температури зарядів – $E_{\delta T_2} = 1,0^\circ C$.

Проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Існуючі методики відстрілу і складання ТС дозволяють отримати занадто усереднені параметри точності ТС із-за відірваності від конкретних умов стрільби і потребують уточнення за рахунок більш детального врахування як особливостей артилерійської системи (кучність, дальність, могутність боеприпасів), так і тактичних характеристик стрільби (типові цілі, час, що відводиться на підготовку пострілу і т.п.).

2. Під час стрільби на дальності до 10 км існуюча методика відстрілу ТС (середня похибка $E_{x_{ТС}} = 0,3 \dots 0,5 \% X$) забезпечує ураження цілей із заданими рівнями показників ефективності [11].

3. Запропонована методика оцінки точності ТС заснована на оцінці ефективності ураження типових цілей. Щоб забезпечити заданий рівень показників ефективності при стрільбі з артилерійських систем на дальності більшій за 10 км, необхідно підвищувати точність складання ТС: для дальності 10 ... 20 км середня похибка ТС повинна бути в межах 0,39 ... 0,28% X; для дальності 20 ... 37 км – 0,28 ... 0,19% X.

4. Основними похибками при складанні ТС є похибки визначення опорної дальності і її нормалізації, тому підвищення точності визначення метеорологічних і балістичних коефіцієнтів при відстрілі і складанні ТС залишається актуальною проблемою.

Список літератури

1. Дмитриевский А. А., Лисенко Л. Н. Внешняя баллистика. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
2. Гантмахер Ф. Р. Теория полета неуправляемых ракет. – М.: Изд-во математической литературы, 1959. – 355 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 572 с.
4. Орлов Б. В. Внешняя и внутренняя баллистика активно-реактивных снарядов. – М: Изд-во ЦНИИ, 1978. – 134 с.

5. *Червонный А. А.* Вероятностные методы оценки эффективности вооружения. – М.: Воениздат, 1979. – 93 с.
6. *Монченко Н. М.* Инженерный расчетный метод определения аэродинамических характеристик снарядов ствольной артиллерии. – М.: в/ч 42261, 1988. – 34 с.
7. *Лысенко Л. Н., Грабил В. В.* Баллистика ствольных систем. Справочная библиотека разработчика-исследователя. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.
8. *Макеєв В. І.* Математична модель просторового руху літального апарату на твердому паливі в атмосфері // Вісник Сумського Державного університету, №2, 2008, – С.7–17.
9. *Макеєв В. І.* Балістична підготовка стрільби, методи і засоби удосконалення. Видавництво Сумського Державного університету, 2008, – С. 21–24.
10. *Кособрюхов Н. Н.* Исследование движения неуправляемых реактивных снарядов (активно-реактивных мин) и методы отстрела и составления таблиц стрельбы. Дисс. канд. тех. наук. – Л.: 1976. – 188 с.
11. *Теоретические основы управления огнем наземной артиллерии.* – Л.: Изд-во Военной артиллерийской академии, 1978. – 454 с.