

УДК 629.072.19 (075.8)

В.В. Прокопенко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТРІЛЬБИ АРТИЛЕРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРСПЕКТИВНОЇ БАЛІСТИЧНОЇ СТАНЦІЇ

В статті обґрунтована система помилок, які супроводжують стрільбу артилерії; наводяться математичні залежності, що дозволяють провести розрахунки значень ймовірності ураження цілі з урахуванням методів приведення та нормалізації вимірної початкової швидкості польоту снаряда за допомогою перспективної балістичної станції для кожної гармати батареї, під час визначення установок для стрільби способом повної підготовки, надані результати їх розрахунків.

Ключові слова: ймовірність ураження цілі, система помилок стрільби, коефіцієнти кореляції гарматні, батареїні, дивізійні.

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури. Вогневе ураження противника складає головний зміст бойових дій артилерійських підрозділів, при цьому вогонь артилерійських підрозділів повинен бути своєчасним і ефективним [1, 2]. У свою чергу ефективність вогню залежить від точності визначення установок для стрільби, способу ведення вогню, характеристики дії снарядів у цілі та розмірів ділянки цілі [3, 4]. Ефективність вогню суттєво знижується із зростанням помилок визначення установок для стрільби на ураження [1, 3, 4].

Одним із основних питань визначення установок для стрільби є балістична підготовка стрільби, основним завданням якої є визначення сумарного відхилення початкової швидкості польоту снарядів. Найбільш точним способом визначення сумарного відхилення початкової швидкості польоту снарядів від її табличного значення є відстріл партії зарядів за допомогою балістичної станції (БС), типовим представником якої є артилерійська балістична станція (АБС-1м). Аналіз точності існуючих методів визначення сумарного відхилення початкової швидкості польоту снарядів від її табличного значення за допомогою АБС-1м показує, що при визначенні сумарного відхилення початкової швидкості польоту снарядів, не враховуються умови вильоту снаряда із каналу ствола, які визначають характер нугаційних коливань снаряда на траєкторії [4, 5]. Стрільба ж у реальних умовах із гармат з середньою або зі значною виробкою каналу ствола буде супроводжуватися значними початковими збуреннями, які приведуть до збільшення кутів нугації на траєкторії, що суттєво впливає на швидкість польоту снаряда і відповідно на зміну дальності їх польоту через зміну величини аеродинамічної сили, а також сили Магнуса і призводить до помилок, граничні значення яких складають 2-2,5 % дальності стрільби, а під час стрільби з гармат із середньою виробкою каналу ствола – 0,8 %, що не відповідає вимогам точності повної підготовки [6].

В роботах [6, 7] проведений розрахунок значень помилок у дальності польоту снарядів, які викликані їх нугаційними коливаннями при різноманітних збуреннях та визначена дальність затухання нугаційних коливань і характер зміни складових і сумарного кута нугації; розроблені методи приведення вимірної швидкості польоту снаряда до дульного зрізу ствола та методи нормалізації вимірної початкової швидкості польоту снаряда, які дозволяють врахувати метеорологічні та балістичні умови польоту снаряда на ділянці вимірювання швидкості до 2500 м за допомогою перспективної БС. Важливим питанням подальших досліджень є оцінка ефективності стрільби артилерії з використанням запропонованих методів приведення та нормалізації вимірної початкової швидкості снаряда за допомогою перспективної БС для кожної гармати батареї.

Метою статті є обґрунтування системи помилок, які супроводжують стрільбу артилерійської гармати, батареї, дивізіону; визначення математичних залежностей, що дозволяють провести розрахунки значення – ймовірності ураження цілі з урахуванням методів приведення та нормалізації вимірної початкової швидкості снаряда за допомогою БС, для кожної гармати батареї, під час визначення установок для стрільби способом повної підготовки.

Основна частина

Точність визначення установок для стрільби на ураження є одним з основних факторів, які визначають ефективність стрільби: чим менше помилки визначення установок для стрільби, тим ефективніша стрільба. Відповідно, вихідними даними, які необхідні для розрахунку показників ефективності стрільби, є характеристики системи помилок, які супроводжують стрільбу на ураження.

Системою помилок, які супроводжують стрільбу на ураження, будемо називати сукупність випадкових відхилень точок падіння снарядів від центру цілі [1, 2]. Розглянемо зміст і характеристики системи помилок при різних умовах стрільби на ураження [4].

Стрільба пострілу. Якщо стрільба складається з одного пострілу, в цьому випадку система помилок, яка супроводжує стрільбу, складається з двох випадкових величин відхилень точок падіння снарядів:

за дальністю

$$X_{\Pi} = X_Y + X_P; \quad (1)$$

за напрямком

$$Z_{\Pi} = Z_Y + Z_P, \quad (2)$$

де X_Y, Z_Y – випадкова помилка підготовки установок, яка визначає відхилення центру розсіювання (ц.р.) снарядів відповідно за дальністю та напрямком; X_P, Z_P – випадкове відхилення снаряда від ц.р. внаслідок розсіювання відповідно за дальністю та напрямком. Характеристиками цих випадкових величин є сумарні серединні помилки пострілу:

за дальністю

$$B_{\partial\Pi} = \sqrt{E_{X_Y}^2 + B_{\partial}^2}; \quad (3)$$

за напрямком

$$B_{\delta\Pi} = \sqrt{E_{Z_Y}^2 + B_{\delta}^2}, \quad (4)$$

де E_{X_Y}, E_{Z_Y} – серединні помилки визначення установок для стрільби відповідно за дальністю та напрямком; B_{∂}, B_{δ} – серединні відхилення, які характеризують розсіювання снарядів за дальністю та напрямком.

Стрільба одною гарматою. Система помилок, які супроводжують стрільбу на поразку не спостережної цілі одною гарматою, складається з двох незалежних між собою груп помилок:

– помилки підготовки X_Y, Z_Y , відповідно за дальністю та напрямком (помилки визначення установок для стрільби на ураження), випадкові значення яких залишаються незмінними для всіх пострілів гармати (помилки, які повторюються);

– відхилення розривів внаслідок розсіювання X_P, Z_P , відповідно за дальністю та напрямком, випадкові значення яких різні для всіх пострілів гармати (помилки, які не повторюються).

Помилки підготовки установок для стрільби на ураження, які повторюються, приводять до відхилення ц.р. снарядів від центру цілі на величину цієї помилки X_Y, Z_Y . Помилки внаслідок розсіювання для кожного пострілу будуть мати випадкові значення, що приведе до розкиду точок падіння снарядів відносно ц.р., який віддалений від цілі на величину помилки X_Y, Z_Y .

Таким чином, помилки і-го пострілу при стрільбі гарматою є сумарними випадковими помилками:

за дальністю:

$$X_{\Pi_i} = X_Y + X_{P_i}; \quad (5)$$

за напрямком:

$$Z_{\Pi_i} = Z_Y + Z_{P_i}, \quad (6)$$

де X_{Π_i}, Z_{Π_i} – сумарні випадкові помилки підготов-

ки, які супроводжують стрільбу на ураження неспостережної цілі однією гарматою, відповідно за дальністю та напрямком; X_{P_i}, Z_{P_i} – помилки розсіювання, які визначають випадкове відхилення точки падіння снаряда і-го пострілу від ц.р., відповідно за дальністю та за напрямком.

Помилки X_Y, Z_Y та X_P, Z_P , відповідно за дальністю і напрямком, незалежні одна від одної і відповідають нормальному закону розподілення, то і сумарні серединні помилки і-го пострілу за дальністю і напрямком також незалежні і відповідно також відповідають нормальному закону розподілення:

за дальністю:

$$E_{X_{\Gamma P_i}} = \sqrt{E_{X_Y}^2 + B_{\partial}^2}; \quad (7)$$

за напрямком:

$$E_{Z_{\Gamma P_i}} = \sqrt{E_{Z_Y}^2 + B_{\delta}^2}, \quad (8)$$

де $E_{X_{\Gamma P_i}}, E_{Z_{\Gamma P_i}}$ – сумарні серединні помилки і-го пострілу однією гарматою, відповідно за дальністю та напрямком.

Стрільба батареєю. Система помилок, які супроводжують стрільбу на ураження неспостережної цілі батареєю, складається з трьох незалежних між собою груп помилок:

– помилки X_B , випадкові значення яких повторюються для всіх пострілів батареї (батареїні);

– помилки $X_{\Gamma P_i}$, випадкові значення яких повторюються тільки для пострілів даної гармати, але не повторюються для пострілів інших гармат батареї (гарматні);

– відхилення X_{P_i} внаслідок розсіювання кожної гармати батареї:

за дальністю:

$$X_{B_i} = X_B + X_{\Gamma P_i} + X_{P_i}; \quad (9)$$

за напрямком:

$$Z_{B_i} = Z_B + Z_{\Gamma P_i} + Z_{P_i}, \quad (10)$$

де X_{B_i}, Z_{B_i} – сумарні випадкові помилки підготовки, які супроводжують стрільбу на ураження неспостережної цілі батареєю, відповідно за дальністю та напрямком; X_B, Z_B – випадкові помилки підготовки, які супроводжують стрільбу на ураження неспостережної цілі батареєю і які повторюються для всіх пострілів гармат батареї (батареїні помилки), відповідно за дальністю та напрямком; X_{P_i}, Z_{P_i} – помилки розсіювання снарядів кожної гармати батареї, відповідно за дальністю та за напрямком.

Складові помилок $X_B, X_{\Gamma P_i}, X_{P_i}$ і-го пострілу за дальністю і складові $Z_B, Z_{\Gamma P_i}, Z_{P_i}$ випадкової помилки і-го пострілу за напрямком є незалежними одна від одної та відповідають нормальному закону розподілення, відповідно випадкові помилки пострі-

лу відповідають нормальному закону розподілення з серединними помилками:

за дальністю

$$E_{X_{B_i}} = \sqrt{E_{X_B}^2 + E_{X_{ГР_i}}^2 + B_{\sigma}^2}; \quad (11)$$

за напрямком:

$$E_{Z_{B_i}} = \sqrt{E_{Z_B}^2 + E_{Z_{ГР_i}}^2 + B_{\sigma}^2}, \quad (12)$$

де $E_{X_{B_i}}, E_{Z_{B_i}}$ – сумарні серединні помилки батареї, відповідно за дальністю та напрямком.

Стрільба дивізіоном. Система помилок, які супроводжують стрільбу на ураження не спостережної цілі дивізіоном, складається з чотирьох незалежних між собою групи помилок:

– помилки X_D , випадкове значення яких повторюється для пострілів всіх батарей дивізіону (дивізіонні помилки);

– помилки X_{B_i} , випадкове значення яких повторюється для пострілів даної батареї і не повторюються для пострілів інших батарей дивізіону (батареїнні помилки);

– помилки $X_{ГР_i}$, випадкові значення яких повторюється тільки для пострілів даної гармати, але повторюються для пострілів інших гармат (гарматні помилки);

– відхилення внаслідок розсіювання кожної гармати дивізіону X_{P_i} :

за дальністю:

$$X_{D_i} = X_D + X_{B_i} + X_{ГР_i} + X_{P_i}; \quad (13)$$

за напрямком:

$$Z_{D_i} = Z_D + Z_{B_i} + Z_{ГР_i} + Z_{P_i}, \quad (14)$$

де X_{D_i}, Z_{D_i} – сумарні випадкові помилки підготовки, які супроводжують стрільбу на ураження не спостережної цілі дивізіоном, відповідно за дальністю та напрямком; X_D, Z_D – випадкові помилки підготовки, які супроводжують стрільбу на ураження не спостережної цілі батареєю і які повторюються для всіх пострілів гармат батареї (дивізіонні помилки), відповідно за дальністю та напрямком.

Складові помилки пострілу, які входять у вираз (13, 14) і помилки пострілу відповідають нормальному закону розподілення з серединними помилками

$$E_{X_{D_i}} = \sqrt{E_{X_D}^2 + E_{X_{B_i}}^2 + E_{X_{ГР_i}}^2 + B_{\sigma}^2}, \quad (15)$$

$$E_{Z_{D_i}} = \sqrt{E_{Z_D}^2 + E_{Z_{B_i}}^2 + E_{Z_{ГР_i}}^2 + B_{\sigma}^2}, \quad (16)$$

де $E_{X_{D_i}}, E_{Z_{D_i}}$ – сумарні серединні помилки дивізіону, відповідно за дальністю і за напрямком.

Проведемо розрахунок ймовірності поразки цілі при стрільбі батареєю та дивізіоном за умови встановлення БС на кожну гармату дивізіону.

Для спрощення розрахунку ймовірності поразки

цілі при стрільбі батареєю (дивізіоном), перейдемо від системи декількох груп помилок до системи двох груп помилок [1, 4]. В цьому випадку довільну кореляційну залежність між відхиленнями точок падіння снарядів при різних пострілах замінимо більш простою, за якою всі коефіцієнти кореляції однакові і дорівнюють середньому значенню коефіцієнта кореляції. При цьому середнє значення коефіцієнта кореляції знайдемо як корінь квадратний із суми квадратів всіх коефіцієнтів кореляції, поділеною на кількість коефіцієнтів кореляції, тобто осереднюючи квадрати коефіцієнтів кореляції. Осереднені коефіцієнти кореляції будемо використовувати для розрахунку характеристик зведеної системи двох груп помилок, які заміняють дійсну, більш складну систему помилок.

Якщо стрільба супроводжується двома групами помилок, то згідно з (7, 8) коефіцієнт кореляції, який характеризує залежність між відхиленнями двох будь-яких розривів від цілі за дальністю [1, 4],

$$c_{X_0} = E_{\sigma_0}^2 / B_{\sigma_n}^2, \quad (17)$$

звідки випливає, що

$$E_{\sigma_0} = B_{\sigma_n} \cdot \sqrt{c_{X_0}}, \quad (18)$$

де c_{X_0} – зведений коефіцієнт кореляції, який характеризує залежність між двома будь-якими відхиленнями розриву від цілі за дальністю; E_{σ_0} – зведена

серединна помилка підготовки установок для стрільби за дальністю. Зведена серединна помилка підготовки установок з урахуванням розмірів групової цілі дорівнює [1, 2, 4]

$$E'_{\sigma_0} = \sqrt{E_{\sigma_0}^2 + 0,038 \cdot \Gamma_{\sigma}^2}, \quad (19)$$

де Γ_{σ} – умовні розміри цілі за глибиною.

Сумарні серединні помилки пострілу дійсної і зведеної систем помилок повинні бути рівними, тобто $B_{\sigma_n}^2 = E_{\sigma_0}^2 + B_{\sigma_0}^2$, відповідно

$$B_{\sigma_0} = \sqrt{B_{\sigma_n}^2 - E_{\sigma_0}^2}, \quad (20)$$

де B_{σ_0} – зведені помилки розсіювання за дальністю.

Отримаємо формули для розрахунку середніх значень коефіцієнтів кореляції. Вище зазначено, що при стрільбі на ураження батареєю ($m=1$), яка складається з k гармат, кожне з яких призводить S пострілів (тобто усього за стрільбу відбувається $N=kS$ пострілів), всього коефіцієнтів кореляції буде $N(N-1)$. Гарматних коефіцієнтів кореляції буде $N(S-1)$ та батареїнних – $NS(k-1)$. Відповідно, сума квадратів коефіцієнтів кореляції дорівнює [4]

$$N(S-1) \cdot c_{X_{ГР}}^2 + NS(k-1) \cdot c_{X_0}^2, \quad (21)$$

а середнє значення коефіцієнта кореляції –

$$c_{X_0} = \sqrt{\left(N(S-1) \cdot c_{X_{ГР}}^2 + NS(k-1) \cdot c_{X_0}^2 \right) / (N(N-1))} = \sqrt{\left((S-1) \cdot c_{X_{ГР}}^2 + S(k-1) \cdot c_{X_0}^2 \right) / (N-1)}. \quad (22)$$

Якщо число пострілів у кожній гарматі достатньо велике, то (22) можна спростити, поділивши чисельник і знаменник підкорінного виразу на S , тоді нехтуючи величиною $1/S$ і враховуючи, що $N=kS$, отримаємо

$$ч_{X_0} = \sqrt{\left(ч_{X_{ГР}}^2 + (k-1) \cdot ч_{X_6}^2\right) / k} \quad (23)$$

При стрільбі дивізіоном, який складається з m батарей по k гармат в кожній, система помилок, яка супроводжує стрільбу на ураження, складається з чотирьох різних груп помилок. За аналогією з батарейними помилками, систему помилок стрільби дивізіоном теж можна привести до системи двох груп помилок, а саме [1, 8]

$$ч_{X_0} = \sqrt{\left(ч_{X_{ГР}}^2 + (k-1) \cdot ч_{X_6}^2 + k \cdot (m-1) \cdot ч_{X_{дл}}^2\right) / (k \cdot m)} \quad (24)$$

Теоретичним шляхом рішення варіаційної задачі встановлена ідеальна щільність обстрілу та ідеальне розсіювання, яке забезпечує максимальне значення ураження цілі [1, 2]. При цьому ймовірність ураження цілі за ідеальною щільністю обстрілу залежить лише від одного параметра

$$K_2 = N \cdot \frac{S_{п} \cdot \tau(l, m)}{E_{\delta_0} E_{н_0}} \quad (25)$$

де $N = N_{ц,га} S_{ц}$, $S_{ц} = \Gamma_{ц} \Phi_{ц} / 1000$ – площа цілі, $S_{п}$ – зона ураження цілі; $l = \sqrt{S_{н}} / 8$; $m = \sqrt{S_{н}} / 2$ – осколкова дія снаряда, $l = m = \sqrt{S_{н}} / 4$ – фугасна дія снаряда; $\tau(l, m)$ – поправочна функція, значення якої наведені у табл. 1 (входом в таблицю є параметри $l = l_n / (B\delta_0)$ і $m = m_n / (B\delta_0)$) [1].

Таблиця 1
Значення функції $\tau(l, m)$ в залежності від l та m

$l = \frac{l_n}{B\delta_0}$	$m = \frac{m_n}{B\delta_0}$									
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0	3,0	∞	
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
0,2	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,03	
0,4	1,00	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,05	1,06	1,09	
0,6	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	1,08	1,10	1,14	
0,8	1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,07	1,10	1,15	1,19	
1,0	1,00	1,01	1,02	1,04	1,07	1,11	1,13	1,19	1,25	
2,0	1,00	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13	1,27	1,35	1,62	
3,0	1,00	1,03	1,06	1,10	1,15	1,19	1,35	1,64	2,13	
∞	1,00	1,04	1,09	1,14	1,19	1,25	1,62	2,13	-	

За значенням K_2 із табл. 2 визначаємо показники ефективності P [1].

Таблиця 2
Значення коефіцієнту K_2

P	K_2	P	K_2	P	K_2
0,05	0,87	0,45	16,08	0,85	78,50
0,1	1,96	0,5	19,56	0,9	104,96
0,15	3,28	0,55	23,57	0,95	155,85
0,2	4,76	0,6	28,18	0,97	198,34
0,25	6,43	0,65	33,86	0,99	303,82
0,3	8,37	0,7	41,36		
0,35	10,53	0,75	50,04		

P	K_2	P	K_2	P	K_2
0,4	13,08	0,8	62,04		

Відносне збільшення ймовірності ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу визначається за залежністю

$$\Delta P = ((P_{н} - P_{ст}) / P_{ст}) \times 100 \quad (26)$$

де $P_{н}$, $P_{ст}$ – значення ймовірності ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу, відповідно з урахуванням запропонованих методів приведення і нормалізації вимірної початкової швидкості польоту снаряда та методів, які використовуються в АБС-1м.

Проведемо розрахунок характеристик системи помилок, що супроводжують стрільбу дивізіоном трьох батареиною складу по шість гармат 152-мм СГ 2С3М, снаряд ОФ-540, 122-мм ГД-30, снаряд ОФ-462, за такими умовами використання повної підготовки:

- топогеодезична прив'язка вогневих позицій (ВП) і командно-спостережного пункту батареї проведена від різних контурних точок за допомогою апаратури топоприв'язки (карта 1:50000);

- координати цілі і висота визначені старшим начальником за аерофотознімком;

- сумарне відхилення початкової швидкості снаряда для контрольної гармати визначено за допомогою АБС-1м; різнобій основних гармат батареї відносно контрольної гармати визначений стрільбою по місцевості; різнобій гармат в батареї відносно основної гармати визначений за допомогою приладу заміру камори (ПЗК);

- поправки на відхилення метеорологічних умов стрільби від табличних розраховані по бюлетеню „метеонаближений” за давністю 2 год.;

- технічна підготовка гармат до стрільби проведена з урахуванням вимог повної підготовки;

- топографічні дані по цілі в батареях визначені за допомогою приладу управління вогнем ПУВ-9У, масштаб 1:50000;

- в батареях боеприпаси однієї партії зарядів зберігаються у різних температурних умовах;

- температура зарядів в кожній батареї вимірювалась самостійно, за допомогою батареиною термометра ТБ-15;

- для оцінки впливу балістичних умов стрільби на точність повної підготовки та для оцінки ефективності стрільби пропонується розглянути ураження цілі при різних способах визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда як для контрольної гармати дивізіону, так і для інших гармат батареї (табл. 3);

- орієнтування гармат в основному напрямку проведено за допомогою бусолі ПАБ-2А з використання магнітної стрілки бусолі.

Характеристики точності визначення джерел помилок наведені в табл. 3 [1, 5]

Таблиця 3

Значення серединних помилок визначення $\Delta V_{0\text{сум}}$ для основних і інших гармат батареї за даними контрольної гармати дивізіону

№ сп.	Способи визначення $\Delta V_{0\text{сум}}$ для контрольної гармати	Серединна помилка визначення $\Delta V_{0\text{сум}}$, в % V_0				
		Для контрольної гармати	Для основних гармат батареї	Для інших гармат батареї, під час визначення різнобою		
				стрілебою на місцевості	за допомогою ПЗК	за допомогою ПБС
I	З допомогою перспективної БС	0,25	0,25	-	-	0,25
II	Зістрілюванням з партією зарядів, для якої $\Delta V_{0\text{сум}}$ визначене за допомогою БС	0,4	0,5	0,6	0,85	-
III	За даними створення репера	0,5	0,6	0,7	0,85	-
IV	При використанні способів приведення і нормалізації, закладених в АБС-1м	0,85	0,85	0,85	0,85	-

I. Групування помилок: дивізіонні помилки:

$$E_{X\delta}^2 = E_{X_M}^2 + E_{X_{\text{Ц}}}^2 + E_{X_{\text{Б}}^{\text{КГР}}}^2 + E_{X_{\text{ТС}}}^2; \quad (27)$$

$$E_{Z\delta}^2 = E_{Z_M}^2 + E_{Z_{\text{Ц}}}^2 + E_{Z_{\text{ТС}}}^2; \quad (28)$$

батареїнні помилки:

$$E_{X_{\text{Б.д}}}^2 = E_{X_{\text{ТПП}}}^2 + E_{X_{\text{Б}}^{\text{осн}}}^2 + E_{X_{\text{ОК}}}^2; \quad (29)$$

$$E_{Z_{\text{Б.д}}}^2 = E_{Z_{\text{ОК}}}^2 + E_{Z_{\text{ТПП}}}^2; \quad (30)$$

гарматні помилки:

$$E_{X_{\text{ГР}}}^2 = E_{X_{\text{Б}}^{\text{ГР}}}^2 + E_{X_{\text{тех}}}^2; \quad (31)$$

$$E_{Z_{\text{ГР}}} = E_{Z_{\text{тех}}}, \quad (32)$$

де $E_{X_{\text{Ц}}}^2 = E_{\text{Ц}}^2 + (E_{\delta_{\text{Ц}}} \cdot \text{ctg} \Theta_{\text{C}})^2$ – серединна помилка за дальністю внаслідок помилок визначення координат і висоти цілі; $E_{Z_{\text{Ц}}}^2 = E_{\text{Ц}}^2$ – серединна помилка за напрямком внаслідок помилок визначення координат і висоти цілі; $E_{X_{\text{ТПП}}}^2 = E_{X_{\text{ТГ}}}^2 + E_{X_{\text{ГФ}}}^2 = E_{\delta}^2 + (E_{\delta_{\text{Ц}}} \cdot \text{ctg} \Theta_{\text{C}})^2$ – серединна помилка за дальністю внаслідок помилок топогеодезичної прив'язки ВП; $E_{Z_{\text{ТПП}}}^2 = E_{\delta}^2 + (0,001 D_{\text{T}}^{\text{Ц}} \cdot E_{\delta_{\text{оп}}})^2$ – серединна помилка за напрямком внаслідок помилок топогеодезичної прив'язки ВП; E_{δ} – серединна помилка визначення координат ВП; $E_{\delta_{\text{оп}}}$ – серединна помилка орієнтування гармати в основному напрямку;

$E_{X_{\text{Б}}^{\text{КГР}}}^2 = (\Delta X_{V_0} \cdot E_{\delta \Delta V_{0\text{сум}}^{\text{КГР}}})^2 + (0,1 \Delta X_{\text{T}_3} \cdot E_{\delta \Delta \text{T}_3})^2 + (0,3 \Delta X_{\text{H}})^2$ – серединна помилка за дальністю внаслідок помилок визначення балістичних умов стрільби для контрольної гармати дивізіону; $E_{\delta \Delta V_{0\text{сум}}^{\text{КГР}}}$, $E_{\delta \Delta \text{T}_3}$ – серединна помилка визначення відхилення балістичних умов стрільби від їх табличних значень для контрольної гармати дивізіону;

$E_{X_{\text{Б}}^{\text{осн}}}^2 = (\Delta X_{V_0} \cdot E_{\delta \Delta V_{0\text{сум}}^{\text{осн}}})^2 + (0,1 \Delta X_{\text{T}_3} \cdot E_{\delta \Delta \text{T}_3})^2$ – серединна помилка за дальністю внаслідок помилок визначення балістичних умов стрільби для основної

гармати батареї; $E_{X_{\text{Б}}^{\text{ГР}}}^2 = (\Delta X_{V_0} \cdot E_{\delta \Delta V_{0\text{сум}}^{\text{ГР}}})^2$ – серединна помилка за дальністю внаслідок помилок визначення балістичних умов стрільби для решти гармат батареї; $E_{X_M} = \sqrt{E_{X_{\text{H}}}^2 + E_{X_{\text{T}}}^2 + E_{X_{\text{Wx}}}^2}$ – серединна помилка в дальності внаслідок помилок метеорологічної підготовки; $E_{X_{\text{H}}} = 0,1 \Delta X_{\text{H}} \cdot E_{\delta \Delta \text{H}}$, $E_{X_{\text{T}}} = 0,1 \Delta X_{\text{T}} \cdot E_{\delta \Delta \text{T}}$, $E_{X_{\text{Wx}}} = 0,1 \Delta X_{\text{W}} \cdot E_{\delta \Delta \text{Wx}}$ – серединні помилки за дальністю визначення відхилення метеорологічних факторів від їх табличних значень;

$E_{\delta \Delta \text{H}} = \sqrt{E_{\text{ВП}[\delta \Delta \text{H}]}^2 + E_{\text{Тy}[\Delta \text{H}]}^2}$, $E_{\delta \Delta \text{T}} = \sqrt{E_{\text{ВП}[\delta \Delta \text{T}]}^2 + E_{\text{Тy}[\Delta \text{T}]}^2}$, $E_{\delta \Delta \text{Wx}} = \sqrt{E_{\text{ВП}[\delta \Delta \text{Wx}]}^2 + E_{\text{Тy}[\text{Wx}]}^2}$ – серединні помилки за дальністю, які характеризують точність визначення метеорологічних факторів на момент стрільби;

$E_{\text{ВП}[\delta \Delta \text{H}]}$, $E_{\text{ВП}[\delta \Delta \text{T}]}$, $E_{\text{ВП}[\delta \Delta \text{Wx}]}$ – серединні помилки за дальністю відповідно, визначення відхилення наземного тиску, складової балістичного вітру, балістичного відхилення температури повітря для ВП на момент стрільби; $E_{\text{Тy}[\Delta \text{H}]} = 0,65 \sqrt{\Delta t_y}$, $E_{\text{Тy}[\text{Wx}]} =$

$E_{\text{Тy}[\text{Wz}]} = 0,85 \sqrt{\Delta t_y}$, $E_{\delta \Delta \text{Wx}} = \sqrt{E_{\text{ОП}[\delta \Delta \text{Wx}]}^2 + E_{\text{Тy}[\text{Wx}]}^2}$ – серединні помилки за дальністю точності визначення метеорологічних факторів на момент стрільби з урахуванням умовного часу давності результатів зондування; $\Delta t_y = \Delta t + d/25$ – умовний часу давності результатів зондування для температури і вітру; $\Delta t_y = \Delta t + d/50$ – умовний часу давності результатів зондування для тиску атмосфери; Δt – час з моменту складання метеобюлетеня; d – віддалення метеостанції від району використання даних бюлетеня;

$E_{Z_M}^2 = 0,1 \Delta Z_{\text{W}} \cdot E_{\delta \Delta \text{Wz}} \cdot 0,001 D_{\text{T}}^{\text{Ц}}$ – серединна помилка за напрямком внаслідок помилок метеорологічної підготовки; $E_{\delta \Delta \text{Wz}} = \sqrt{E_{\text{ОП}[\delta \Delta \text{Wz}]}^2 + E_{\text{Тy}[\text{Wz}]}^2}$ – серединна помилка за напрямком, яка характеризує точність визначення метеорологічних факторів на момент стрільби; $E_{\text{ОП}[\delta \Delta \text{Wz}]}$ – серединна помилка за напрямком визначення складового балістичного вітру для ВП на момент стрільби;

$E_{X_{\text{ТЕХ}}} = E\delta\Delta\varphi \cdot \Delta X_{\text{тис}} = 0,75\Delta X_{\text{тис}}$ – серединна помилка за дальністю внаслідок помилок технічної підготовки;

$E_{Z_{\text{ТЕХ}}} = E\delta\Delta\beta \cdot 0,001D = 0,65 \cdot 0,001D_T^{\text{II}}$ – серединна помилка за напрямком внаслідок помилок технічної підготовки; $E_{X_{\text{ТС}}} = 0,3\% / D_T^{\text{II}} = 0,003D_T^{\text{II}}$ – серединна помилка за дальністю внаслідок помилок таблиць стрільби;

$E_{Z_{\text{ТС}}}^2 = (0,001D \cdot E_{\delta z})^2 + 2,2E_{\delta\Delta Z_W}^2 \cdot E_{W_Z}^2$ – серединна помилка за напрямком внаслідок помилок таблиць стрільби; $E_{\delta z} = 0,05Z$, $E_{\delta\Delta Z_W} = 0,05 \cdot 0,1 \cdot \Delta Z_W$ – серединні помилки табличних поправок напрямку;

$E_{W_Z}^2$ – серединне відхилення, яке характеризує розподіл бокової складової вітру; $E_{X_{\text{ОК}}} = 0,2\Delta X_{\text{тис}}$ – серединна помилка в дальності, яка характеризує розподіл бокової складової вітру; $E_{Z_{\text{ОК}}} = 0,2 \cdot 0,001D_T^{\text{II}}$ – серединна помилка за напрямком, яка характеризує розподіл бокової складової вітру.

Серединні помилки, які характеризують розподіл помилок підготовки та помилок пострілу, визначаються за залежностями [1, 4]:

помилки підготовки:

$$E_{X_y}^2 = E_{X_{\delta}}^2 + E_{X_{\delta,\delta}}^2 + E_{X_{\text{ГР}}}^2; \quad (33)$$

$$E_{Z_y}^2 = E_{Z_{\delta}}^2 + E_{Z_{\delta,\delta}}^2 + E_{Z_{\text{ГР}}}^2, \quad (34)$$

де E_{Z_y} , E_{X_y} – серединні помилка підготовки за напрямком та дальністю відповідно;

помилки пострілу:

$$V_{\delta_{\text{П}}}^2 = E_{X_{\delta}}^2 + E_{X_{\delta,\delta}}^2 + E_{X_{\text{ГР}}}^2 + V_{\delta}^2 = E_{X_y}^2 + V_{\delta}^2; \quad (35)$$

$$V_{\delta_{\text{П}}}^2 = E_{Z_{\delta}}^2 + E_{Z_{\delta,\delta}}^2 + E_{Z_{\text{ГР}}}^2 + V_{\delta}^2 = E_{Z_y}^2 + V_{\delta}^2, \quad (36)$$

де $V_{\delta_{\text{П}}}$, $V_{\delta_{\text{П}}}$ – серединні помилки пострілу за напрямком та дальністю відповідно.

Коефіцієнти кореляції за дальністю, напрямком, які характеризують залежність між помилками i -го і j -го пострілів, які належать одній гарматі та визначаються за залежністю:

гарматний коефіцієнт кореляції за дальністю та напрямком:

$$\chi_{X_{\text{ГР}}} = \frac{E_{X_{\text{ГР}}}^2 + E_{X_{\delta,\delta}}^2 + E_{X_{\delta}}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2} = \frac{E_{X_y}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2}, \quad (37)$$

$$\chi_{Z_{\text{ГР}}} = \frac{E_{Z_{\text{ГР}}}^2 + E_{Z_{\delta,\delta}}^2 + E_{Z_{\delta}}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2} = \frac{E_{Z_y}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2}; \quad (38)$$

батареїн коефіцієнт кореляції за дальністю та напрямком:

$$\chi_{X_{\delta}} = \frac{E_{X_{\delta}}^2 + E_{X_{\delta,\delta}}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2} = \frac{E_{X_{\delta}}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2}, \quad (39)$$

$$\chi_{Z_{\delta}} = \frac{E_{Z_{\delta}}^2 + E_{Z_{\delta,\delta}}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2} = \frac{E_{Z_{\delta}}^2}{V_{\delta_{\text{П}}}^2}; \quad (40)$$

дивізійні коефіцієнт кореляції за дальністю та напрямком:

$$\chi_{X_{\delta}} = E_{X_{\delta}}^2 / V_{\delta_{\text{П}}}^2, \quad (41)$$

$$\chi_{Z_{\delta}} = E_{Z_{\delta}}^2 / V_{\delta_{\text{П}}}^2. \quad (42)$$

Зведені коефіцієнти дорівнюють: за дальністю

$$\chi_{X_0} = \sqrt{\frac{\chi_{X_{\text{ГР}}}^2 + (K-1) \cdot \chi_{X_{\delta}}^2 + K \cdot (m-1) \cdot \chi_{X_{\delta}}^2}{k \cdot m}}, \quad (43)$$

де K – число гармат в батареї; m – число батарей в дивізії;

за напрямком:

$$\chi_{Z_0} = \sqrt{\frac{\chi_{Z_{\text{ГР}}}^2 + (K-1) \cdot \chi_{Z_{\delta}}^2 + K \cdot (m-1) \cdot \chi_{Z_{\delta}}^2}{k \cdot m}}. \quad (44)$$

Серединні помилки які повторюються відповідно, за дальністю та напрямком, визначаються

$$E_{\delta_0} = V_{\delta_{\text{П}}} \cdot \sqrt{\chi_{X_0}}; \quad (45)$$

$$E_{\text{НО}} = V_{\delta_{\text{П}}} \cdot \sqrt{\chi_{Z_0}}. \quad (46)$$

Зведені серединні які не повторюються, за дальністю та за напрямком дорівнюють відповідно

$$V_{\delta_0} = \sqrt{V_{\delta_{\text{П}}}^2 - E_{\delta_0}^2}, \quad (47)$$

$$V_{\delta_0} = \sqrt{V_{\delta_{\text{П}}}^2 - E_{\text{НО}}^2}. \quad (48)$$

Відповідно зведені серединні помилки підготовки установок з урахуванням розмірів групової цілі дорівнюватимуть

за дальністю:

$$E'_{\delta_0} = \sqrt{E_{\delta_0}^2 + 0,038 \cdot \Gamma_{\text{Ц}}^2}; \quad (49)$$

за напрямком:

$$E'_{\text{НО}} = \sqrt{E_{\text{НО}}^2 + 0,038 \cdot \Phi_{\text{Ц}}^2}. \quad (50)$$

Підставляючи (49, 50) до (25), проводячи відповідні розрахунки та використовуючи дані табл. 2, отримаємо значення ймовірності ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу, які наведені на рис. 1.

Наведені розрахунки показують, що при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М, ймовірність ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу, при вимірюванні швидкості польоту снаряда з АБС-1м складає 58-25 %, перспективною БС – 62-38 % для повного заряду та відповідно 68-45 % і 68-65 % для шостого.

При стрільбі 122-мм Г Д-30, ймовірність ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу складає: відповідно – 66-34 % та 68-45 % для повного заряду, 74-53 % та 75-71 % для четвертого.

Проведений розрахунок відносного збільшення ймовірності ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу за формулою (26) для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30 наведені на рис. 2.

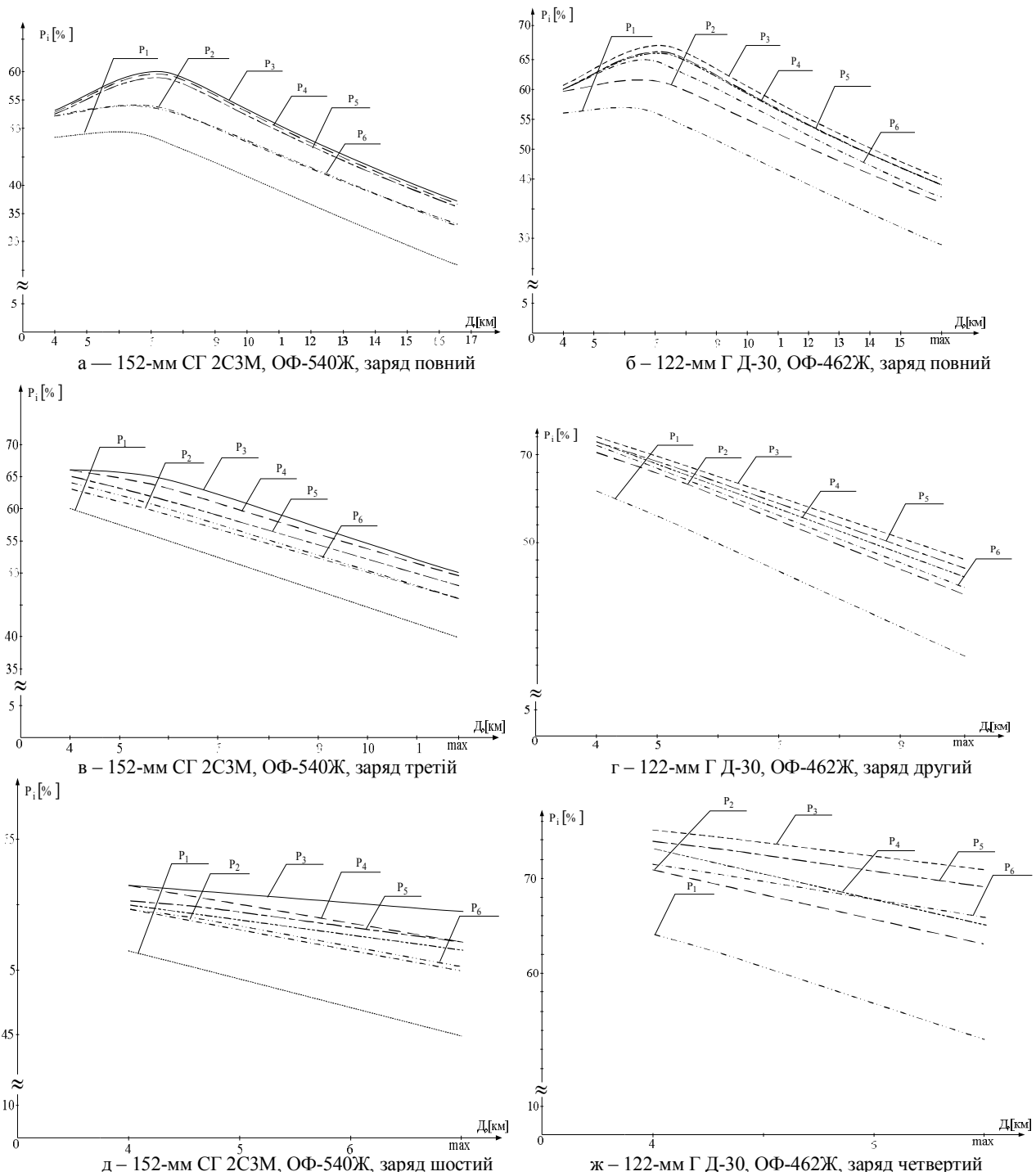


Рис. 1. Значення ймовірності поразки цілі при ідеальній щільності її обстрілу

$P_1 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — ПЗК;

$P_2 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — стрільбою на місцевості;

$P_3 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}, E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — перспективною БС;

$P_4 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — ПЗК;

$P_5 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — стрільбою на місцевості;

$P_6 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}} - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}, E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — АБС-1м на кожній гарматі.

$P_1 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — ПЗК;

$P_2 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — стрільбою на місцевості;

$P_3 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}, E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — перспективною БС;

$P_4 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — ПЗК;

$P_5 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ — АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — стрільбою на місцевості;

$P_6 - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}} - E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}, E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ — АБС-1м на кожній гарматі.

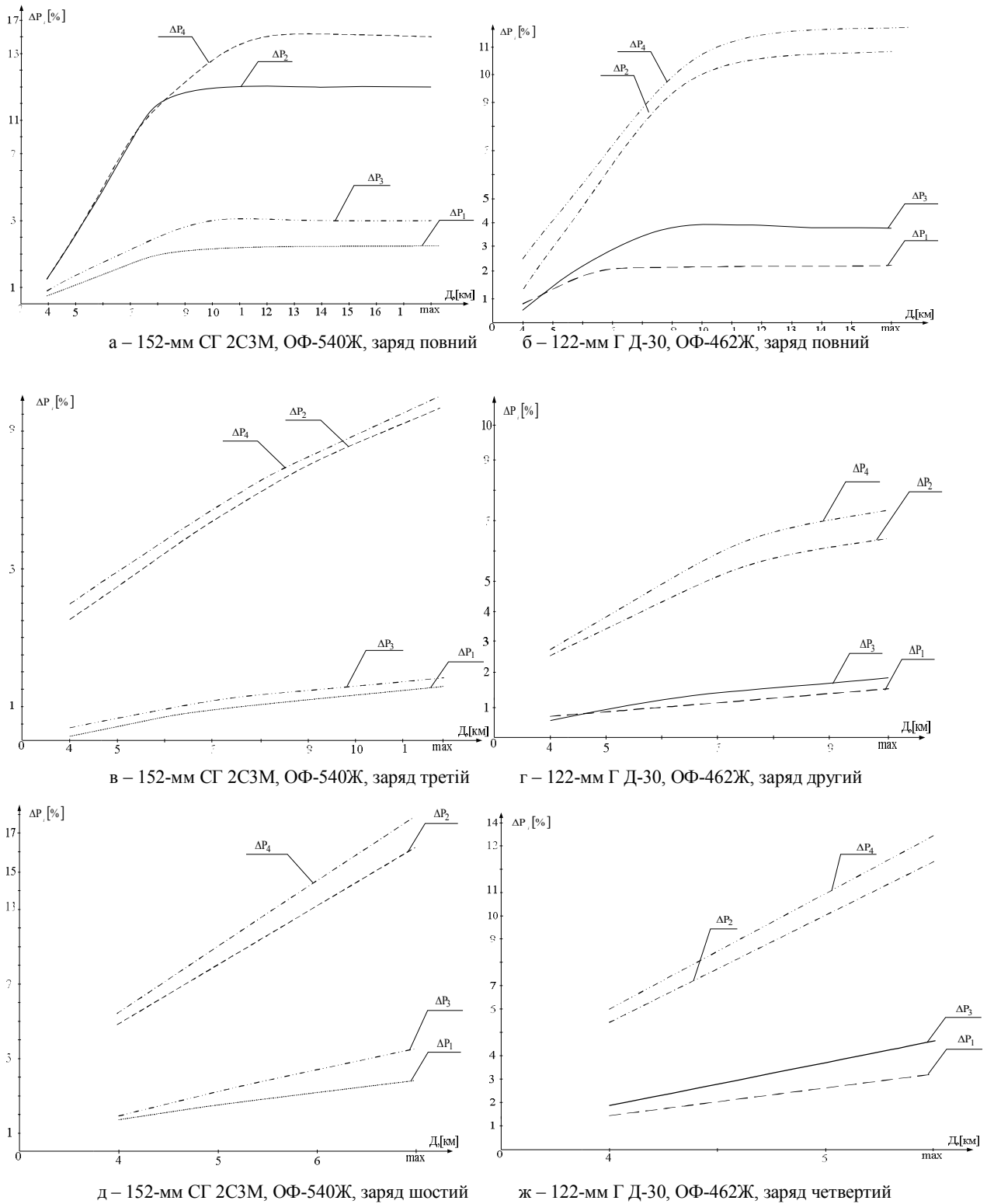


Рис. 2. Відносне збільшення ймовірності поразки цілі при ідеальній щільності її обстрілу

ΔP_1 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – ПЗК;

ΔP_2 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – стрільбою на місцевості;

ΔP_3 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – ПЗК;

ΔP_4 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – стрільбою на місцевості.

ΔP_1 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – ПЗК;

ΔP_2 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – за даними створення репера,
 $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – стрільбою на місцевості;

ΔP_3 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – ПЗК;

ΔP_4 – $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{кг}}$ – АБС-1м, $E_{\delta\Delta V_{0\text{сум}}}^{\text{гр}}$ – стрільбою на місцевості.

З графіків видно, що:

- при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М збільшення ймовірності ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу, при вимірюванні швидкості польоту снаряда перспективною БС – 1,5-16 % для повного заряду і 2-18 % для шостого.

- при стрільбі 122-мм Г Д-30 складає: відповідно – 0,5-12 % для повного заряду, 1,5-13,5 % для четвертого.

Висновки

У статті проведено обґрунтування системи помилок, які супроводжують стрільбу артилерійської гармати, батареї, дивізіону; визначені математичні залежності, що дозволяють провести розрахунок – ймовірності ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу з урахуванням методів приведення та нормалізації вимірної початкової швидкості снаряда за допомогою перспективної БС, для кожної гармати батареї, під час визначення установок для стрільби способом повної підготовки.

Надані результати розрахунків значень ймовірностей ураження цілі при ідеальній щільності її обстрілу та визначене відносне збільшення ймовірності поразки цілі при ідеальній щільності її обстрілу для 122-мм Г Д-30, 152-мм СГ 2С3М при визначенні умов для стрільби на ураження способом повної підготовки. Проведені розрахунки показують, що:

- максимальне значення ймовірності ураження цілі досягається, якщо початкова швидкість польоту снаряда вимірювалася за допомогою перспективної балістичної станції для кожної гармати батареї та складає 75%, що значно підвищує ефективність ураження цілі;

- мінімальне значення отримується при розрахунках, якщо початкова швидкість польоту снаряда визначалася за даними створення репера, а різнобій ПЗК та складає 25%;

- збільшується ймовірність ураження цілі, при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М з 0,1 до 18% та при стрільбі з 122-мм Г Д-30 з 0,5 до 13% за умови оснащення кожної гармати батареї (дивізіону) перспективною БС.

Таким чином, збільшення ймовірності ураження цілі досягається застосуванням методів приведення вимірної швидкості польоту снаряда до дульного зрізу ствола та нормалізації вимірної початкової швидкості польоту снаряда, які дозволяють врахувати метеорологічні та балістичні умови польоту снаряда на ділянці вимірювання швидкості до 2500 м за допомогою перспективної БС.

Список літератури

1. Теория стрельбы наземной артиллерии [Под редакцией Матвеева А.И.] – Л.: Военная артиллерийская Академия, 1966. – 521 с.
2. Теоретические основы стрельбы наземной артиллерии [Под ред. Круковского А.С.] – М.: Министерство обороны СССР, 1976. – 345 с.
3. Правила стрільби і управління вогнем наземної артилерії: група, дивізіон, батарея, взвод, гармата / В.М. Рябоконт, П.Й. Руденко, П.В. Полениця, О.В. Смірнов. – К.: Міністерство оборони, 2008. – 232с.
4. Стрельба и управления огнем наземной артиллерии / [А.С. Круковский, В.В. Куренков, В.И. Юнкеров и др.] – М.: Воениздат, 1976. – 542с.
5. Направления повышения точности баллистической подготовки стрельбы артиллерии / Ю.И. Бударецкий, В.И. Грабчак, В.И. Макеев, В.В. Прокопенко // Артиллерийское и Стрелковое Вооружение. – К.: КБ Артиллерийское вооружение. – 2011. – Вып. 3(40). – 2011. – С.3-8.
6. Макеев В.И. Дослідження впливу нутаційних коливань снарядів (мін) на дальність їх польоту / В.И. Грабчак, В.И. Макеев, В.В. Прокопенко, Ю.И. Кучерявенко // Військово-технічний збірник. – Львів: ЛІСВ. – 2010. – Вып. 3. – С. 59-64.
7. Макеев В.И. Дослідження методів приведення та нормалізації вимірної швидкості польоту снарядів / В.И. Грабчак, В.И. Макеев, В.В. Прокопенко // Зб. наук. праць Академії ВМС імені П.С. Нахімова. – Севастополь: АВМС імені Нахімова. – 2010. – Вып. 1(1). – С.18 – 25.
8. Теоретические основы стрельбы наземной артиллерии / [А.С.Круковский, И.В.Осипов, К.Г. Власенко и др.]; под ред. А.С. Круковского. – М.: Воен. издательство, 1976. – 346с.

Надійшла до редакції 19.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співр. А.М. Зубков, Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРЕЛЬБЫ АРТИЛЛЕРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНОЙ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В.В.Прокопенко

В статье обосновывается система ошибок, которые сопровождают стрельбу артиллерии; приводятся математические зависимости, которые позволяют провести расчеты значений вероятности поражения цели с учетом методов приведения и нормализации измеренной начальной скорости полета снаряда с помощью перспективной баллистической станции для каждого орудия батареи, с учетом расчета установок для стрельбы способом полной подготовки, приведены результаты их расчетов.

Ключевые слова: вероятность поражения цели, система ошибок стрельбы, коэффициенты корреляции орудийные, батарейные, дивизионные.

EVALUATION ARTILLERY FIRE EFFECTIVENESS WHEN USING PERSPECTIVE BALLISTIC STATION

V.V. Prokopenko

The article explains the errors system that accompanies fir of artillery cannon, battery, division, mathematical dependencies which allow estimates of the probability values of the target engagement with account for the methods of reduction and normalization of the measured initial velocity of the projectile with a ballistic perspective station for each battery cannon account for settings with view dimensioning method for full training shooting, are presented the results of their calculations are given.

Keywords: with engagement an ideal density of its firing, the error system, cannon correlation coefficients, battery, divisional.