

УДК 623.4382

П.Є. Трофименко<sup>1</sup>, В.І. Макеєв<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Науковий центр бойового застосування ракетних військ і артилерії  
Сумського державного університету, Суми

<sup>2</sup> Кафедра військової підготовки Сумського державного університету, Суми

## РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПРИВЕДЕННЯ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАНОЇ ШВИДКОСТІ СНАРЯДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРСПЕКТИВНОЇ БАЛІСТИЧНОЇ СТАНЦІЇ

У статті досліджені методи приведення вимірюваної швидкості снарядів до дульного зрізу каналу ствола гармати, проведена оцінка точності кожного з них. Доведена доцільність застосування методу найменших квадратів другого порядку (МНК-2). Визначені оптимальні коефіцієнти регресії для знаходження дульної швидкості снаряду, а також визначені дульні поправки у швидкість снаряду.

**Ключові слова:** методи приведення швидкості снарядів, дульна поправка, помилки приведення, коефіцієнт регресії.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Балістична підготовка – це складова частина забезпечення точної стрільби артилерії. Досвід Великої Вітчизняної війни, сучасних локальних війн показав – неврахування балістичної підготовки перед стрільбою і в ході стрільби зменшує ефективність ураження цілей [5].

Розрахунки показують, що вага помилок балістичної підготовки в сумарній помилці повної підготовки по дальності за умов визначення відхилення початкової швидкості снарядів відповідно до вимог [1] становить на середні і максимальні дальності стрільби 30 – 35 %. При наближеному визначенні сумарного відхилення початкової швидкості снарядів вага помилок балістичної підготовки досягає 70 – 80%. Особливо значна вагомість помилок балістичної підготовки при стрільбі з далекобійних систем [2, 3].

Основними балістичними параметрами, які визначають траєкторію польоту снаряда, є початкова швидкість  $V_0$ , кут кидання  $\Theta_0$  і балістичний коефіцієнт. Визначення поправок на початкову швидкість снаряду є необхідною умовою для здійснення точної стрільби, оскільки табличні дані про дальність стрільби розраховані для нової гармати. По мірі її використання (ведення вогню) відбувається так званий «розпал ствола» (а у гармат з картузним заряджанням ще й камори) із-за чого зменшується початкова швидкість снаряда унаслідок прориву частки порохових газів між снарядом і стінкою каналу ствола гармати. І, як результат цього – погіршується точність доставки снаряду до цілі (об'єкта), збільшуються витрати боєприпасів і час виконання вогневого завдання. Ось чому проблема визначення дульної (початкової) швидкості снаряду є актуальною в області балістичної підготовки стрільби артилерії.

Важливим завданням дослідження точності балістичної підготовки є встановлення способів виміру швидкості снаряду, визначення поправок на початкову швидкість снаряду і урахування їх як в ході підготовки, так і під час стрільби [6]. Не менш актуальним є завдання з розроблення нової перспективної балістичної станції (ПБС) та взяття її на озброєння в ракетні війська і артилерію Сухопутних військ. Безумовно це потребує розробки відповідної методики.

На сьогодні в артилерійських частинах і підрозділах для приведення вимірюваної швидкості снарядів користуються методикою, яка ґрунтується на даних, отриманих за допомогою АБС-1, АБС-1М. Розрахунки показують, що точність визначення поправок за допомогою АБС поступається точності поправок, які визначають з використанням ПБС.

**Метою статті** є розробка доцільного методу приведення вимірюваної швидкості снарядів до дульного зрізу каналу ствола гармати за допомогою ПБС.

### Основна частина

Для урахування початкових умов вильоту снаряду з каналу ствола необхідно вимірювати його швидкість балістичною станцією в точці затухання нутаційних коливань, тобто на відстані від гармати 1800 – 2500м. Існуюча балістична станція (АБС-1), що є на озброєнні в артилерійських частинах, вимірює швидкість снаряду на відстані від гармати лише 100 – 150 м. Така відстань не забезпечує урахування початкових умов вильоту снаряду з каналу ствола. У зв'язку з цим виникла необхідність в розробці нового методу приведення вимірюваної швидкості снаряду до дульного зрізу ствола.

Для практичної реалізації такого методу (способу) визначення впливу нутаційних коливань на дальність польоту снаряда необхідно:

розробити метод приведення швидкості снаряда, яка вимірюється на відстані від гармати –  $S_{\delta} = 1800 - 2500$  м;

оцінити доцільність урахування поправок у виміряну швидкість на відхилення умов стрільби від табличних.

Виходячи з цього, оцінимо величину помилки приведення швидкості снаряда до дульного зрізу ствола, що виміряна на віддаленні 1800-2500 м, за умови прийняття лінійної залежності зміни швидкості (як в АБС-1М) від точки вильоту до точки вимірювання,  $S_{\delta}$ . Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків величин дульної поправки  $\Delta V_{\dot{A}}$ ,  $\Delta V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}}$  і помилки приведення  $\delta(\Delta V_{\dot{A}})$

для 152-мм СП 2С5 і 203,2-мм СП 2С7

$S_{\delta}$ , м	$\Delta V_{\dot{A}}$ Вимірювання сучасним методом, м/с	$\Delta V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}}$ на ЕОМ, м/с	Помилки у визначенні поправки $\Delta V_{\dot{A}}$	
			$\delta(\Delta V_{\dot{A}})$ , [м/с]	$\delta(\Delta V_{\dot{A}})/V_0$ 100%
152-мм СП 2С5 $\theta_0 = 0,7964$ рад.				
100	6,53	6,531	0,008	0,0008
200	12,98	12,97	0,010	0,00105
900	58,47	57,97	0,50	0,0528
1300	96,51	81,30	1,59	0,1679
1500	96,51	93,44	3,07	0,325
1600	102,10	98,17	3,93	0,415
1800	114,25	109,5	4,75	0,502
2100	131,87	126,08	5,79	0,612
2500	149,12	142,39	6,72	0,710
203,2-мм СП 2С7 $\theta_0 = 0,8910$ рад.				
100	5,750	5,751	0,01	0,0010
200	10,960	10,961	0,02	0,002
900	48,420	47,66	0,76	0,0785
1300	69,390	67,54	1,85	0,191
1500	79,190	75,86	3,33	0,345
1600	84,420	80,05	4,37	0,452
1800	95,70	90,27	5,43	0,561
2100	144,59	139,06	6,53	0,675
2500	193,01	185,38	7,63	0,789

У табл. 1 наведені значення:

$$\Delta V_{\dot{A}} = V_{\dot{A}}' - V_{0\delta}, \quad (1)$$

де  $V_{\dot{A}}'$  – значення початкової (дульної) швидкості снаряда, яке отримано за умови прийняття лінійної залежності зміни швидкості;  $V_{0\delta}$  – табличне значення швидкості снаряда, яка розрахована за допомогою системи диференційованих рівнянь [4] для різноманітних відстаней точки вимірювання швидкості снарядів;

$$\Delta V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}} = V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}} - V_{0\delta}, \quad (2)$$

де  $V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}}$  – значення початкової (дульної) швидкості снаряда, яке отримано шляхом інтегрування системи диференційованих рівнянь на ЕОМ.

Тоді помилку приведення виміряної швидкості снаряда до дульного зрізу можна обчислити як

$$\delta(\Delta V_{\dot{A}}) = \Delta V_{\dot{A}}' - \Delta V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}}. \quad (3)$$

З даних табл. 1 видно, що існуючий метод приведення виміряної швидкості до дульного зрізу можна застосовувати за умови віддалення точки вимірювання швидкості снаряду не більше 200 м (помилка складає не більше 0,001%).

Під час вимірювання швидкості снаряду на відстані від гармати (1800÷2500 м) використання існуючого методу приведення лінійної зміни швидкості від точки вимірювання до значних дульного зрізу приводить до помилок у визначенні початкової швидкості снаряда (0,50÷0,78%  $V_0$ ). Таким чином, метод лінійної екстраполяції, прийнятий в АБС-1М, при вимірюванні швидкості снаряду на значній відстані 1800 – 2500 м від гармати є неприйнятним.

З метою розробки доцільного методу приведення вимірюваної швидкості снарядів проведемо порівняльну оцінку способу лінійної екстраполяції з

запропонованим способом екстраполяції отриманих значень швидкості снаряду. Для цього розглянемо два методи приведення вимірної швидкості снаряда до дульного зрізу каналу ствола гармати, і виходячи з цього оцінимо точність кожного з них.

Перший метод – лінійний (в АБС-1М), ґрунтується на допущенні, що швидкість снаряда від точки вильоту до точки вимірювання змінюється по закону

$$V_i = at_i + b, \quad (4)$$

де  $a, b$  – коефіцієнт регресії;  $t_i$  – відлік часу, коли здійснюється вимірювання швидкості снаряда.

У такому випадку ми можемо визначити дульну швидкість за допомогою виразу:

$$V_{\check{A}} = V_1 + \frac{V_1 - V_2}{t_2 - t_1} t_1, \quad (5)$$

де  $V_1, V_2$  (м/с) – значення швидкості снаряда в серединах вимірювальних баз, отриманих за допомогою АБС-1М;  $t_1, t_2$  (с) – відліки часу, на яких виконується вимірювання швидкості.

Другий метод – метод найменших квадратів другого порядку (МНК-2) ґрунтується на допущенні, що швидкість снаряда змінюється за законом:

$$V = at^2 + bt + c, \quad (6)$$

де  $V$  (м/с) – поточна швидкість снаряда;  $t$  (с) – поточний час польоту снаряда;  $a, b, c$  – коефіцієнти регресії.

Для того, щоб знайти дульну швидкість снаряду, необхідно визначити коефіцієнти регресії  $a, b, c$ .

Ураховуючи те, що  $V_d$  – це швидкість снаряда в момент вильоту снаряда з каналу ствола, то приймемо  $V_{\check{A}} = c$ .

Отримавши декілька вимірювань швидкості  $V_i$  снаряду в моменти часу  $t_i$ , ми можемо побудувати середньоквадратичне відхилення функції, що задає  $V^{\check{A}i\delta}$  від вимірної швидкості  $V_i$  [8]:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (V^{\check{A}i\delta}(t_i) - V_i)^2 = \sum_{i=1}^n (at_i^2 + bt_i + c - V_i)^2. \quad (7)$$

Для визначення оптимальних коефіцієнтів регресії, що описує  $V^{\check{A}i\delta}$ , знаходимо часткові похідні  $S_a^2, S_b^2, S_c^2$  та прирівнюємо їх до 0. Отримаємо систему з трьох рівнянь, розв'язавши яку отримаємо невідомі коефіцієнти регресії.

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^4 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i; \\ a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^3 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n t_i V_i; \\ a \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n t_i + c \cdot n =, \end{cases} \quad (8)$$

де  $t_i$  (с) – моменти часу, для середини вимірювального інтервалу, в яких проводились вимірювання швидкості снаряда;  $V_i$  (м/с) – поточні виміряні значення

швидкості за допомогою перспективної балістичної станції (ПБС);  $n$  – кількість запасних снарядів ПБС.

Розв'язання даної системи рівнянь здійснюється методом Крамера [9]:

$$a = \frac{|A_1|}{|A|}; \quad b = \frac{|A_2|}{|A|}; \quad c = \frac{|A_3|}{|A|}, \quad (9)$$

де  $|A|$  – визначник матриці  $\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i & n \end{vmatrix}$ ;

$|A_1|$  – визначник матриці  $\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i V_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n V_i & \sum_{i=1}^n t_i & n \end{vmatrix}$  (10)

$|A_2|$  – визначник матриці  $\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i & \sum_{i=1}^n t_i^2 \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i V_i & \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n V_i & n \end{vmatrix}$ ;

$|A_3|$  – визначник матриці  $\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n t_i^4 & \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 V_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 & \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i V_i \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 & \sum_{i=1}^n t_i & \sum_{i=1}^n V_i \end{vmatrix}$ .

Визначимо дульні поправки в швидкості снаряду при різних способах приведення її (швидкості) до дульного зрізу ствола. Дульна поправка в швидкості для еталонного (розрахованого на ЕОМ) методу приведення визначається по залежності;

$$\Delta V_{\check{A}}^{\check{A}i\check{I}} = V_{OT} - V_i, \quad (11)$$

де  $V_{OT}$  – табличне значення швидкості снаряду в точці вильоту;  $V_i$  – поточне значення швидкості снаряду.

Дульна поправка в швидкості для існуючого методу приведення (закладена в АБС-1М) визначається по залежності:

$$\Delta V_{\check{A}}' = V_{\check{A}}' - V_{OT}, \quad (12)$$

де  $V_{\check{A}}'$  – дульна швидкість, отримана першим методом приведення, яка визначається таким виразом

$$\Delta V_{\check{A}}' = V_1 + \frac{V_1 - V_2}{t_2 - t_1} t_1. \quad (13)$$

Дульна поправка в швидкості другого методу приведення визначається формулою:

$$\Delta V_{\dot{A}}'' = V_{\dot{A}}'' - V_{OT}, \quad (14)$$

де  $V_{\dot{A}}''$  – дульна швидкість, отримана другим методом приведення, знаходиться при розв'язанні системи рівнянь (6) – (8).

Тоді помилка приведення вимірної швидкості до дульного зрізу ствола при визначенні її лінійним методом знаходиться по залежності:

$$\delta \Delta V_{\dot{A}}' = \Delta V_{\dot{A}}' - \Delta V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}}.$$

Помилка приведення вимірної швидкості до дульного зрізу ствола при приведенні її лінійним методом знаходиться по залежності:

$$\delta \Delta V_{\dot{A}}' = \Delta V_{\dot{A}}' - \Delta V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}}, \quad (15)$$

а помилка приведення вимірної швидкості до дульного зрізу ствола при приведенні МНК-2:

$$\delta \Delta V_{\dot{A}}'' = \Delta V_{\dot{A}}'' - \Delta V_{\dot{A}}^{\hat{A} \hat{I}}. \quad (16)$$

Звідси помилка в дальності через помилки приведення вимірної швидкості до дульної з використанням лінійного методу приведення знайдеться по залежності:

$$\delta X' = \frac{\partial X}{\partial V_0} \delta \Delta V_{\dot{A}}', \quad (17)$$

а помилка в дальності через помилки приведення вимірної швидкості до дульної з використанням МНК 2:

$$\delta X'' = \frac{\partial X}{\partial V_0} \delta \Delta V_{\dot{A}}''. \quad (18)$$

Приведені розрахунки по наведеній методиці показали, що для отримання необхідної точності апроксимації достатньо обрати на кривій  $V_{\dot{A}} = f(t)$  15 – 20 точок, при виконанні методу найменших квадратів (МНК-2).

## Висновки

Метод приведення вимірюваної швидкості снарядів (метод лінійної інтерполяції) можна застосовувати при вимірюванні швидкості снаряда на відстані від дульного зрізу не більше 100 – 150 м. При цьому помилки приведення  $\delta \Delta V_{\dot{A}}'$  не перевищують 0,029%  $V_0$ .

При вимірюванні швидкості снаряда на відстані від дульного зрізу ствола 800 – 2500 м, тобто з урахуванням умов його вильоту, необхідно застосовувати методи приведення, які базуються на апроксимації вимірювальних значень швидкості поліномом другої ступені. При цьому помилки приведення  $\delta \Delta V_{\dot{A}}''$  не перевищують 0,086%  $V_0$ , а при використанні метода лінійної екстраполяції (яка прийнята в АБС-1М) помилки приведення  $\delta \Delta V_{\dot{A}}'$  будуть складати 1,45%  $V_0$ . Для отримання необхідної точності апроксимації необхідно засікти не менше 15 – 20 значень швидкості снаряда, що є однією з вимог до перспективної балістичної станції.

## Список літератури

1. Правила стрільби і управління вогнем артилерії (група, дивізіон, батарея, взвод, гармата). – К.: Варта, 2008. – 255 с.
2. Равдин И.Ф. Внешняя баллистика неуправляемых ракет и снарядов / И.Ф. Равдин. – МО СССР, 1976. – 184 с.
3. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лисенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
4. Математична модель просторового руху літального апарату на твердому паливі в атмосфері / В.І. Макеев та ін. // Вісник СумДУ. – Суми, 2008. – №2.
5. Баллистика ствольных систем. Справочная библиотека разработчика-исследователя / Л.Н. Лысенко, В.В. Грабин и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.
6. Перспективы создания радиолокационных систем селекции и распознавания сложных целей в миллиметровом диапазоне / А.Н. Зубков, Р.В. Обуханич и др. // Прикладная радиоэлектроника. – 2002. – Т.1, №3. – С. 77-81.
7. Отчёт по НИР №36-72 (7-72). Исследование путей совершенствования баллистической подготовки стрельбы ствольной и реактивной артиллерии. – Л.: в/ч 48254, 1973. – 98 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 572 с.
9. Теоретические основы стрельбы наземной артиллерии: учебник. – МО СССР, 1976. – 345 с.

Надійшла до редколегії 7.09.2010

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. А.М. Черноус, Сумський державний університет, Суми.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРИВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕННОЙ СКОРОСТИ СНАРЯДОВ С ПОМОЩЬЮ ПЕРСПЕКТИВНОЙ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

П.Е. Трофименко, В.И. Макеев

*В статье исследованы методы приведения измеренной скорости снарядов к дульному срезу канала ствола орудия, проведена оценка точности каждого из них. Доказана целесообразность применения метода наименьших квадратов второго порядка (МНК-2). Определены оптимальные коэффициенты регрессии для определения дульной скорости снарядов, а также определены дульные поправки в скорость снаряда.*

**Ключевые слова:** методы приведения скорости снарядов, дульная поправка, ошибки приведения, коэффициент регрессии.

### THE DEVELOPMENT OF METHODS OF BRINGING THE MEASURED SPEED OF THE SHELLS BY THE PERSPECTIVE BALLISTIC STATION

P.E. Trofimenko, V.I. Makeev

*The methods of adductions of the measured speed of the shells to the muzzle cut of barrel channel of instrument were investigated, the estimation of exactness of each of them is conducted. Expedience of application of least-squares method of the second order is well-proven. Optimal coefficients of regression for the determination of muzzle speed of shells are determined.*

**Keywords:** methods of bringing speed over the shells, muzzle amendment, errors of adduction, coefficient regressions.



