

УДК 623.4.02

П.Є. Трофименко, В.І. Макеєв

Сумський державний університет, Суми

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЕННЯ ПОЧАТКОВОЇ ШВИДКОСТІ З УРАХУВАННЯМ ПОЧАТКОВИХ УМОВ ВІЛЬОТУ СНАРЯДУ (МІНИ) ІЗ КАНАЛУ СТВОЛА

У даній статті досліджуються два методи визначення відхилення початкової швидкості снаряду від табличного значення за допомогою перспективної балістичної станції (ПБС), що вимірює швидкість у точці затухання нутаційних коливань, обумовлених зміною початкових умов вильоту снаряда з каналу ствола гармати, представлено математичний опис першого і другого методів приведення вимірної швидкості снаряда (міни), проведена оцінка точності визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда (міни).

Ключові слова: початкова швидкість снаряду (міни), методи визначення початкової швидкості, балістична станція, оцінка точності.

Вступ

Зовнішня балістика вивчає рух некерованих снарядів (мін) після вильоту їх з каналу ствола, а також чинники, що впливають на цей рух [2, 3, 5]. Основним її змістом є вивчення усіх елементів руху снаряда (міни) і сил, що діють на нього у польоті (сила опору повітря, сила тяжіння, реактивна сила, сила, що виникає у період післядії, і та ін.); рух центру мас снаряда, а також визначення стійкості польоту і розсіювання снарядів. Теоретичне вирішення завдань про рух снаряда і завдань теорії поправок зводиться до складання рівнянь руху снаряда, спрощення цих рівнянь і пошуку методів їх рішення.

Відомо [3, 5], що для визначення траєкторії снарядів (мін) необхідно знати вхідні (початкові) умови, до яких належать початкова швидкість, кут кидання, форма і маса снаряда. Не врахування початкових умов вильоту снаряда з каналу ствола приводить до значних помилок при визначенні розрахованих установок для стрільби (помилки складають 0,6 – 2% дальності) [2, 7]. Отже, від повноти і точності їх оцінки і врахування залежить ефективність виконання вогневих завдань артилерійськими підрозділами. Тому, знаходження оптимальних методів визначення вхідних даних і, насамперед, початкової швидкості снарядів (мін) є проблемою, яку необхідно вирішувати поєднанням теоретичних і експериментальних досліджень, що дозволить готувати артилерію до стрільби з необхідною точністю і при мінімальних витратах часу.

Метою статті є оцінка точності визначення сумарного відхилення початкової швидкості снарядів (мін) на підставі математичного опису першого і другого методів приведення вимірної початкової швидкості, отриманої за допомогою перспективної балістичної станції.

Основна частина

Розглянемо визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда від табличного значення різними способами, та оцінимо точність кож-

ного з них і доцільність їх використання. Послідовність визначення $\Delta V_{0\text{сум}}$ за допомогою перспективної балістичної станції, що інтегрована з ЕОМ з використанням методу найменших квадратів, з приведенням вимірної швидкості снаряда до дульного зрізу ствола (перший спосіб) може бути такою:

по кожному пострілу вимірюють швидкість ($V_{\text{вим}_i}$) і термін (t_i) польоту снарядом середини інтервалу часу, що вимірюється;

розраховують середнє значення швидкості снаряда по групі рахованих пострілів n (не менше 4-х):

$$V_{\text{вим}_\text{ср}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{вим}_i} / n; \quad (1)$$

розраховують середній термін польоту снаряда до середини інтервалу, що вимірюється, по групі рахованих пострілів:

$$t_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n t_i / n; \quad (2)$$

розраховують дульну поправку з використанням методу найменших квадратів на ЕОМ за допомогою системи диференціальних рівнянь [4,8]:

$$\Delta V_{\text{Д}}'' = at_{\text{ср}}^2 + bt_{\text{ср}} + c, \quad (3)$$

де a, b, c – коефіцієнти апроксимації;

визначають початкову швидкість снаряда, яка приведена до дульного зрізу ствола:

$$V_0'' = V_{\text{вим}_\text{ср}}'' + \Delta V_{\text{Д}}''; \quad (4)$$

знаходять початкову швидкість, що приведена до табличних умов:

$$V_{0\text{пр}}'' = V_0'' + \Delta V_{0\text{Н}}'', \quad (5)$$

де $\Delta V_{0\text{Н}}''$ – відхилення початкової швидкості снаряда, приведеної до табличних умов;

визначають відхилення початкової швидкості снаряда від табличного значення:

$$\Delta V_{0\text{сум}} = \left(\left(V_{0\text{пр}}'' - V_{0\text{Т}} \right) / V_{0\text{Т}} \right) \cdot 100\%, \quad (6)$$

де V_{0T} – табличне значення початкової швидкості снаряду;

тоді поправка у дальність знайдеться із:

$$\Delta D_{V_0} = \frac{\partial X}{\partial V_0} \Delta V_{0\text{сум}}, \quad (7)$$

де $\frac{\partial X}{\partial V_0}$ – поправочний коефіцієнт у дальність на

відхилення початкової швидкості снаряду.

Порядок визначення відхилення початкової швидкості снаряду від табличного значення може бути покладений на ЕОМ, що інтегрована з балістичною станцією і використовується для рішення задачі підготовки даних для стрільби.

Відхилення швидкості снаряда від табличного значення у точці затухання нутаційних коливань ΔV_{δ} (*другий спосіб*) визначається за залежністю:

$$\Delta V_{\delta} = \frac{V_{\delta H} - V_{\delta T}}{V_{\delta T}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де $V_{\delta H}$ – виміряна швидкість снаряда у точці затухання нутаційних коливань, що приведена до табличних умов стрільби; $\Delta V_{\delta T}$ – таблична швидкість снаряда для точки затухання нутаційних коливань, що може бути розрахована за допомогою системи диференціальних рівнянь [4, 8] для кожної артилерійської системи, снаряда та заряду.

Перевагою даного способу урахування нутаційних коливань на дальність польоту снаряда (міни) є те, що він не вимагає приведення вимірної швидкості до дульного зрізу, необхідно провести тільки її нормалізацію по залежності [2,5]:

$$\Delta V_{\delta H} = V_{\text{вим.сер}} + \Delta V_{\delta h_0} + \Delta V_{\delta W_x} + \Delta V_{0_{\tau_B}} + \Delta V_{0_{T_{3M}}} + \Delta V_{0_q} + \Delta V_{\delta_{qc}}, \quad (9)$$

де $V_{\text{вим.сер}}$ – середнє значення швидкості снаряду по групі рахованих пострілів для точки вимірювання швидкості – S_{δ} .

Для практичної реалізації даного способу урахування впливу нутаційних коливань на дальність стрільби необхідно мати табличні значення швидкості ($V_{\delta T}$) і поправки у швидкість (ΔV_{α_i}) на відхилення відповідного α_i -го збуджуючого фактору від табличного значення. Дані параметри повинні бути визначені залежно від терміну часу польоту (t_c) і дальності (S_{δ}) для різних артилерійських систем, снарядів (мін), зарядів і закладені в пам'ять мікро ЕОМ перспективної балістичної станції.

Тоді поправка у дальність на відхилення швидкості снаряда у точці її вимірювання визначається залежністю:

$$\Delta D_{\delta} = \frac{\partial X}{\partial V_{\delta}} \Delta V_{\delta \text{в.н.}}, \quad (10)$$

де $\frac{\partial X}{\partial V_{\delta}}$ – поправочні коефіцієнти у дальність на від-

хилення швидкості снаряда в точці S_{δ}

Рішення задачі щодо урахування відхилення швидкості снаряда у точці затухання нутаційних коливань від табличних значень і її нормалізація може бути проведено за допомогою ЕОМ балістичної станції. До ЕОМ вводяться умови стрільби ($\Delta h_0, W_x, \Delta \tau, \Delta q, T_{3M}$), за допомогою системи диференціальних рівнянь [4, 8] розраховуються поправочні коефіцієнти $\left(\frac{\partial X}{\partial V_{\delta_i}} \right)$ для даної артилерійської сис-

теми, снаряда, заряду та поправки у дальність ($\Delta D_{V_{\delta}}$) на відхилення швидкості снаряда від її табличного значення, які ураховуються під час підготовки даних для стрільби.

Таким чином, запропоновані способи урахування початкових умов вильоту снаряда (міни) з каналу ствола є практичним вирішенням цієї проблеми, урахування початкових умов вильоту снаряду із каналу ствола за допомогою перспективної балістичної станції.

Розглянемо точність визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда запропонованими способами. Помилки визначення початкової швидкості за допомогою перспективної балістичної станції **першим способом** залежать від:

інструментальної помилки балістичної станції ($E_{\delta V_{\text{вим}}}$);

розкиду початкових швидкостей снаряда від пострілу до пострілу унаслідок неоднорідності зарядів і снарядів (r_{V_0});

помилки методу приведення вимірної швидкості снаряда (міни) до дульного зрізу ($E_{\delta \Delta V_D}$);

помилки нормалізації ($E_{\delta \Delta V_{OH}}$).

З виразу (3) випливає, що ΔV_D^{δ} залежить не

тільки від точності визначення апроксимуючих коефіцієнтів a, b, c , але і від точності вимірювання часу польоту снаряда від точки вильоту до точки вимірювання швидкості t_c . Отже, якщо швидкість виміряна в 10-ти точках і більше, ураховуючи, що коефіцієнти a, b, c – постійні, серединна помилка $E_{\delta \Delta V_D}$ може бути знайдена на основі правил лінеаризації функції випадкових аргументів [8, 9].

Звідси серединна помилка лінійного методу приведення вимірної швидкості до дульного зрізу ствола (що закладено в АБС) визначається залежністю:

$$E_{\delta \Delta V_D} = a \cdot t \cdot 0,001 \cdot \frac{100}{V_{0T}}. \quad (11)$$

Серединна помилка методу приведення, що ґрунтується на апроксимації вимірної швидкості поліномом другого степеня знайдеться із:

$$E_{\delta \Delta V_{0d}} = (2 \cdot a \cdot t + b) \cdot 0,001 \cdot t \cdot \frac{100}{V_{0T}}, \text{ в } \% V. \quad (12)$$

Серединна помилка метода нормалізації при вимірюванні швидкості снаряда за допомогою АБС-1М визначається залежністю:

$$E'_{\delta \Delta V_{0H}} = \left[\left(\left(\frac{\partial V}{\partial h_0} \cdot E_{\Delta h_0} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \tau} \cdot E_{\Delta \tau} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial w_x} \cdot E_{\Delta w_x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q_c} \cdot E_{\Delta q_c} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial T_3} \cdot E_{\Delta T_3} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q} \cdot E_{\Delta q} \right)^2 \right] \cdot \frac{100}{V_0}. \quad (13)$$

Серединна помилка метода нормалізації при застосуванні перспективної балістичної станції знайдеться з:

$$E''_{\delta \Delta V_{0H}} = \left[\left(\left(\frac{\partial V}{\partial h_0} \cdot E_{\delta \Delta h_0} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \tau} \cdot E_{\delta \Delta \tau} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial w_x} \cdot E_{\delta \Delta w_x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q_c} \cdot E_{\delta \Delta q_c} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial T_3} \cdot E_{\delta \Delta T_3} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial q} \cdot E_{\delta \Delta q} \right)^2 \right] \cdot \frac{100}{V_0}. \quad (14)$$

Серединна помилка метода нормалізації при вимірюванні швидкості снаряда в точці затухання нутаційних коливань знайдеться із:

$$E_{\delta \Delta V_{0H}} = \left[\left(\left(\frac{\partial V_{\delta}}{\partial h_0} \cdot E_{\delta \Delta h_0} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\delta}}{\partial \tau} \cdot E_{\delta \Delta \tau} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\delta}}{\partial w_x} \cdot E_{\delta \Delta w_x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\delta}}{\partial q} \cdot E_{\delta \Delta q} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\delta}}{\partial T_3} \cdot E_{\delta \Delta T_3} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{\delta}}{\partial q_c} \cdot E_{\delta \Delta q_c} \right)^2 \right] \cdot \frac{100}{V_0}, \quad (15)$$

де $\frac{\partial V}{\partial \alpha_i}$ – поправочний коефіцієнт у швидкість на α_i фактор; $E_{\Delta \alpha_i}$ – середнє відхилення, що характеризує розкид α_i факторів; $E_{\delta \Delta \alpha_i}$ – середнє відхилення, що характеризує точність визначення фактора α_i [9].

Тоді серединна помилка сумарного відхилення початкової швидкості снаряда визначається за формулами:

а) при вимірюванні швидкості снаряда з АБС-1М (існуючий метод):

$$E_{\delta \Delta V_{0\text{сум}}} = \sqrt{E_{\delta V_{\text{вим}}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0d}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0H}}^2 + \frac{r_{V_0}^2}{n}}, \quad (16)$$

де $E_{\delta \Delta V_{0\text{сум}}} = 0,15 \% V_0$ – інструментальна помилка вимірювання швидкості снаряда за допомогою АБС-

1М [5, 9]; $n = 4$ – число засічок пострілів; r_{V_0} – коефіцієнт розсіювання швидкості снаряда, визначається з Таблиць стрільби для відповідної системи, снаряду та заряду;

б) при вимірюванні швидкості снаряда за допомогою перспективної балістичної станції:

$$E_{\delta \Delta V_{0\text{сум}}} = \sqrt{E_{\delta V_{\text{вим}}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0d}}^2 + E_{\delta \Delta V_{0H}}^2 + \frac{r_{V_0}^2}{n}}, \quad (17)$$

де $E_{\delta V_{\text{вим}}} = 0,1 \% \cdot V_0$ – інструментальна помилка вимірювання швидкості снаряда за допомогою перспективної балістичної станції [6].

Серединна помилка, що характеризує відхилення ваги снаряда визначається з [2,7]:

$$E_{\Delta q} = 0,75 \% q_0 = \frac{0,75 \% q_0 \cdot 1 \frac{\text{В}}{\text{ЗН}}}{0,67 \% q_0} = 1,15.$$

Серединна помилка, яка характеризує точність визначення ваги снаряду знайдеться з: [2,7]:

$$E_{\delta \Delta q} = 0,1 \% q_0 = \frac{0,1 \% q_0 \cdot 1 \frac{\text{В}}{\text{ЗН}}}{0,67 \% q_0} = 0,15,$$

де $E_{\Delta h_0}, E_{\Delta \tau}, E_{\Delta w_x}, E_{\Delta q_c}, E_{\delta \Delta h_0}, E_{\delta \Delta \tau}, E_{\delta \Delta q_c}, E_{\delta \Delta w_x}, E_{\delta \Delta T_3}$ – визначаються відповідно до [9].

ВИСНОВКИ

В АБС-1М метод приведення, що застосовується в теперішній час, можливий тільки при вимірюванні швидкості снаряда на відстані 100-150м від дульного зрізу ствола. При вимірюванні швидкості снаряда на відстані 1800-2500м помилка такого метода буде складати $\delta'_{\Delta V_{0d}} = 0,56 \div 0,78 \% V_0$, що знижує точність визначення $\Delta V_{0\text{сум}}$.

Методика нормалізації вимірюваної швидкості, що застосовується в існуючій АБС-1М не урахує зміни швидкості снаряда за рахунок сили опору повітря та зміни сил тяжіння на ділянці вимірювання, в результаті помилка нормалізації даним методом складає $0,25 \% V_0$, що впливає на точність визначення $\Delta V_{0\text{сум}}$.

Запропоновані у статті методи визначення відхилення швидкості снаряда від табличного значення дозволяють вимірювати швидкість снаряда перспективною БС на віддалені від дульного зрізу ствола від 100м до 2500м. При цьому точність визначення сумарного відхилення початкової швидкості буде складати $0,15 \div 0,2 \% V_0$, що є достатнім для визначення установок для стрільби методом повної підготовки [1, 9].

Вимірювання швидкості снаряда (міни) у точці затухання нутаційних коливань ($S_{\delta} = 1800 \div 2500 \text{ м}$) дозволяє урахувати початкові збурення, що утворюються при вильоті снаряда (міни) з каналу ствола.

Дані рекомендації можуть бути використані у військах для практичного використання за умови прийняття на озброєння перспективної балістичної станції, що інтегрована з балістичним обчислювачем вихідних даних для стрільби.

Список літератури

1. Правила стрільби і управління вогнем артилерії (група, дивізіон, батарея, взвод, гармата). – К.: Видавництво «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. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
4. Математична модель просторового руху літально-го апарату на твердому паливі в атмосфері / В.І. Макеев та ін. // Вісник СумДУ. – Суми, 2008. – № 2. – С. 13-17.

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. – 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 2.03.2011

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ С УЧЁТОМ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВЫЛЕТА СНАРЯДА (МИНЫ) ИЗ КАНАЛА СТВОЛА

П.Е. Трофименко, В.И. Макеев

В данной статье исследованы два метода определения отклонения начальной скорости снаряда от табличного значения с помощью перспективной баллистической станции (ПБС), которая измеряет скорость в точке угасания нутационных колебаний, обусловленных сменой начальных условий вылета снаряда (мины) из канала ствола орудия, описаны математические аппараты первого и второго методов приведения измеренной скорости снаряда (мины), проведена оценка точности определения суммарного отклонения начальной скорости снаряда (мины).

Ключевые слова: начальная скорость снаряда (мины), методы определения отклонения начальной скорости, баллистическая станция, оценка точности.

DETERMINATION OF INITIAL REJECTION RATE IN VIEW ELEMENTARY OF PROJECTILE VILLETTE (MINA) WITH THE BARREL BORE

P.E Trofimenko, V.I. Makeev

This article examined two methods of determining muzzle velocity deviation from the tabulated value by promising ballistic station (PBS), which measures the soon-st at the point of extinction nutation oscillation caused a change in initial conditions place the projectile (mines) from the bore guns, described the mathematical apparatus of the first and second methods is given, of the measured velocity of the projectile (mines), evaluated the accuracy of the total deviation of muzzle velocity (mines).

Keywords: initial velocity of projectile (mines), methods for determining the deviation of the initial velocity, ballistic station, assessment of accuracy.