

УДК 623.4.02

П.Є. Трофименко, В.І. Макеєв

Сумський державний університет, Суми

РОЗРОБКА МЕТОДІВ НОРМАЛІЗАЦІЇ ВИМІРЯНОЇ ШВИДКОСТІ СНАРЯДА НА РІЗНИХ ВІДДАЛЕННЯХ ВІД ДУЛЬНОГО ЗРІЗУ СТВОЛА

У статті проведено дослідження методів нормалізації вимірної швидкості на різних віддаленнях від дульного зрізу каналу ствола гармати, розраховано поправки у швидкість снаряда, які визначаються за допомогою АБС-ІМ і ПБС, наведено методуку визначення відхилення швидкості снаряду від табличної у точці затухання нутаційних коливань.

Ключові слова: методи нормалізації, вимірня швидкість снаряду, поправки до швидкості, нутаційні коливання.

Вступ

Постановка проблеми і аналіз літератури. Точність визначення установок для стрільби артилерією на основі повної підготовки за рядом чинників, особливо із-за недосконалості сучасних методів і засобів балістичної підготовки стрільби, не повною мірою відповідає технічним можливостям артилерійських систем і боєприпасів. Такий стан, у свою чергу, призводить до зниження ефективності вогневого ураження противника вогнем артилерії [1].

Відомо, що основою балістичної підготовки стрільби звичайних снарядів є визначення сумарного відхилення початкової швидкості снарядів і температури заряду. Для активно-реактивних снарядів (мін) (АРС, АРМ) до балістичних факторів, крім того, відносяться: одиничний імпульс сили тягіння, термін роботи двигуна, вага реактивного заряду, температура реактивного заряду, час вмикання двигуна після вильоту із каналу ствола [4, 10].

Слід зазначити, що сучасні методи балістичної підготовки стрільби снарядів (мін) [3] не ураховують: умов вильоту снаряда (міни) із каналу ствола, які визначають характер нутаційних коливань снаряда (міни) на траєкторії; відхилення параметрів роботи двигуна від табличних (номінальних); вплив температури реактивного заряду на розбіжність значень оди-

ничного імпульсу тяги і терміну роботи двигуна; поправки на нелінійність і взаємозалежність збурюючих факторів на великі дальності стрільби.

За цих умов актуальними стають дослідження ступеня впливу різноманітних збурюючих факторів на політ снарядів (мін), визначення основних балістичних факторів, вплив яких необхідно урахувати під час стрільби, оцінка точності сучасних методів і засобів балістичної підготовки, а також дослідження необхідності урахування впливу нутаційних коливань на дальність та напрямок польоту снарядів (мін).

У літературі з питань зовнішньої балістики [2, 8, 9] розглядаються питання впливу коливального руху снарядів (мін) на рух центру мас. І все ж, унаслідок недостатньої вірогідності значень аеродинамічних характеристик снарядів у системі диференціальних рівнянь, отримання об'єктивних параметрів нутаційних коливань снарядів стає неможливим.

Тому **метою статті** є дослідження методів нормалізації, які урахували б метеорологічні та балістичні умови польоту снаряда на різних ділянках вимірювання швидкості від дульного зрізу ствола. На підставі цих досліджень розробити методуку розрахунку аеродинамічних коефіцієнтів та інерційно-вагових характеристик, яка дозволяє визначати аеродинамічні коефіцієнти з більш високою точніс-

ттю у порівнянні з методиками, які використовувалися раніше [5, 11, 13].

Основний матеріал

Нова балістична станція, яка (проходить польові випробування, планується до прийняття на озброєння артилерійських підрозділів на кожен гармату) вимірює швидкість снаряду на значному віддаленні від гармати (1800-2500м), що дозволяє урахувати початкові умови вильоту снаряду з каналу ствола. У зв'язку з цим виникла необхідність розробки нового методу нормалізації вимірюваної швидкості снаряда, на відміну від існуючого, закладеного в АБС-1М, тому що даний метод не урахує вплив сили опору повітря та зниження дотичної до траєкторії за рахунок прискорення сили тяжіння [4 – 6].

Для урахування впливу відхилень метеорологічних і балістичних умов стрільби від табличних (перший спосіб) необхідно ввести поправки у швидкість:

$$\Delta V_{0MB} = \Delta V_{0h_0} + \Delta V_{0\tau_0} + \Delta V_{0w_x} + \Delta V_{0q} + \Delta V_{0q_c} + \Delta V_{0T_3}, \quad (1)$$

Де ΔV_{0h_0} , $\Delta V_{0\tau_0}$, ΔV_{0w_x} , ΔV_{0q} , ΔV_{0q_c} , ΔV_{0T_3} – відхилення початкової швидкості снаряда через відхилення: тиску атмосфери (h_0), швидкості вітру (w_x), маси снаряду (q), балістичного коефіцієнту (q_c), температури заряду (T_3).

Поправки у швидкість $\Delta V_{0\alpha_i}$ на відхилення i -ої умови стрільби від табличного значення можуть визначатися методом різниці за допомогою системи диференціальних рівнянь [12].

Поправка у швидкість за рахунок нормалізації (приведення до табличних умов) вимірюваної швидкості снаряда, яка використовується в АБС-1М визначається залежністю:

$$\Delta V_{0H'} = \frac{\partial V}{\partial h_0} M_{\Delta h_0} + \frac{\partial V}{\partial \tau} M_{\Delta \tau} + \frac{\partial V}{\partial w_x} M_{w_x} + \frac{\partial V}{\partial q_c} M_{\Delta q} + \Delta V_{0T_3} + \Delta V_{0q}, \quad (2)$$

де $M_{\Delta h_0}$, $M_{\Delta \tau}$, M_{w_x} , $M_{\Delta q}$ - математичне сподівання α_i фактора, визначається відповідно [5,6]; Δh_0 – відхилення тиску атмосфери на 1 мм. рт. ст.; $\Delta \tau$ – відхилення температури повітря на 1°С; w_x – швидкість вітру на 1 м/с; $\frac{\partial V}{\partial h_0}$, $\frac{\partial V}{\partial \tau}$, $\frac{\partial V}{\partial w_x}$, $\frac{\partial V}{\partial q_c}$ - поправочні коефіцієнти вимірювання швидкості снаряда при зміні тиску атмосфери на 1 мм.рт.ст., температури повітря на 1°С, швидкості вітру на 1 м/с, балістичного коефіцієнта на 1 в/зн. Поправочні коефіцієнти можуть бути визначені за допомогою системи диференціальних рівнянь (СДР) [12];

Поправка у швидкість за рахунок нормалізації (приведення до табличних умов) вимірюваної швидкості снаряда при використанні способу, який оснований на методі найменших квадратів (МНК) визначається залежністю:

$$\Delta V_{0H''} = \frac{\partial V}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial V}{\partial \tau} \Delta \tau + \frac{\partial V}{\partial w_x} w_x + \frac{\partial V}{\partial q_c} \Delta q + \Delta V_{0T_3} + \Delta V_{0q}, \quad (3)$$

де ΔV_{0T_3} – відхилення початкової швидкості снаряда через відхилення температури заряду від табличної, яке розраховується за формулою: $\Delta V_{0T_3} = I_{T_3} \cdot V_{0T} \cdot \Delta T_3$; ΔV_{0q} – відхилення початкової швидкості снаряда через відхилення його ваги від табличної, розраховується по залежності:

$$\Delta V_{0q} = I_q \cdot V_{0T} \cdot 0,66 \cdot \Delta q / 100,$$

де V_{0T} – табличне значення швидкості снаряда; I_q , I_{T_3} – поправочні коефіцієнти, внутрішньої балістики, які зв'язують відхилення початкової швидкості снаряда з відхиленням температури заряду та маси снаряда, Δq - відхилення маси снаряда, у в/зн; $\Delta T_3 = T_3 - 15^\circ\text{C}$ - відхилення температури заряду від табличної, де - T_3 - температура заряду в °С виміряна термометром ТБ-15.

По залежності (3) були визначені значення дульної поправки у швидкість снаряда $\Delta V_{0\alpha_i}$, залежно відхиленням метеорологічних і балістичних умов стрільби. Результати розрахунків для 152-мм СП 2С5 представлені у табл. 1.

Графічне відображення результатів розрахунків поправок у швидкість снаряда показана на рис. 1÷5.

Із рис. 1 – 3 видно, що залежність відхилення початкової швидкості $\Delta V_{0\alpha_i}$ на тиск атмосфери (Δh_0), температури повітря ($\Delta \tau$) і швидкість вітру (Δw_x) не пропорційна знакам самих поправок і їх абсолютні значення не однакові. Разом з тим (рис. 4-5) залежність відхилення початкової швидкості снаряда на температуру заряду (ΔT_3) і вагові знаки (Δq) є пропорційною і їх абсолютні значення однакові.

Таким чином результати розрахунків (табл. 1, рис. 1 – 5) показують, що під час вимірювання швидкості снаряда на відстані 1800 – 2500м від дульного зрізу ствола величина поправки ΔV_{0MB} складає до 30 м/с і повинна ураховуватися під час приведення вимірюваної швидкості до табличних умов стрільби.

По аналогії з табл. 1 можуть бути складені таблиці для будь-якої артилерійської системи, різних снарядів (мін), зарядів, залежно від часу польоту (t_i) та S_i і внесені в пам'ять мікро ЕОМ ПБС.

Таблиця 1

Значення дульної поправки у швидкість снаряда для 152-мм СП 2С5 на відхилення метеорологічних і балістичних умов стрільби від табличних, м/с

| $\Delta V_{0\alpha_i}$ | S_δ [м] | t [с] | $\Delta\tau_B (^{\circ}C); T_{3M} (^{\circ}C); W_x (м/с); \Delta h_0 (мм.рт.ст.)$ | | | | | | | | | |
|------------------------|-------------------|----------|---|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | | | - 40 | - 30 | - 20 | - 15 | - 5 | + 5 | + 15 | + 20 | +30 | + 40 |
| ΔV_{0h_0} | 900 | 0,105 | - 2,65 | - 1,99 | - 1,325 | - 0,99 | - 0,33 | + 0,34 | + 1,07 | + 2,35 | + 2,03 | + 2,70 |
| | 1000 | 0,990 | - 3,00 | - 2,25 | - 1,50 | - 1,13 | - 0,38 | + 0,38 | + 1,14 | + 1,52 | + 2,28 | + 3,04 |
| | 1300 | 1,095 | - 3,87 | - 2,90 | - 1,94 | - 1,45 | - 0,48 | + 0,49 | + 1,46 | + 1,95 | + 2,93 | + 3,90 |
| | 1500 | 1,690 | - 4,35 | - 3,26 | - 2,17 | - 1,63 | - 0,54 | + 0,55 | + 1,64 | + 2,19 | + 3,29 | + 4,38 |
| | 1600 | 1,795 | - 4,62 | - 3,46 | - 2,31 | - 1,73 | - 0,58 | + 0,58 | + 1,74 | + 2,33 | + 3,49 | + 4,65 |
| | 2500 | 2,030 | - 5,10 | - 3,82 | - 2,55 | - 1,91 | - 0,63 | + 0,64 | + 1,94 | + 2,58 | + 3,87 | + 5,16 |
| $\Delta V_{0\tau_0}$ | 900 | 0,105 | + 6,75 | + 5,06 | + 3,37 | + 2,53 | + 0,84 | - 0,65 | - 1,96 | - 2,61 | - 3,92 | - 5,22 |
| | 1000 | 0,990 | + 7,48 | + 5,61 | + 3,74 | + 2,81 | + 0,93 | - 0,72 | - 2,17 | - 2,89 | - 4,34 | - 5,79 |
| | 1300 | 1,095 | + 9,55 | + 7,16 | + 4,77 | + 3,58 | + 1,19 | - 0,93 | - 2,79 | - 3,73 | - 5,59 | - 7,45 |
| | 1500 | 1,690 | + 10,68 | + 8,01 | + 5,34 | + 4,00 | + 1,34 | - 1,05 | - 3,14 | - 4,19 | - 6,28 | - 8,38 |
| | 1600 | 1,795 | + 11,28 | + 8,46 | + 5,64 | + 4,23 | + 1,41 | - 1,11 | - 3,33 | - 4,44 | - 6,66 | - 8,88 |
| | 2500 | 2,030 | + 12,46 | + 9,34 | + 6,23 | + 4,67 | + 1,55 | - 1,23 | - 3,69 | - 4,92 | - 7,38 | - 9,84 |
| ΔV_{0W_x} | 900 | 0,105 | - | + 2,19 | + 1,46 | + 1,09 | + 0,36 | - 0,27 | - 0,79 | - 1,06 | - 1,59 | - |
| | 1000 | 0,990 | - | + 2,41 | + 1,61 | + 1,20 | + 0,40 | - 0,29 | - 0,87 | - 1,15 | - 1,73 | - |
| | 1300 | 1,095 | - | + 3,52 | + 2,35 | + 1,76 | + 0,58 | - 0,37 | - 1,12 | - 1,49 | - 2,24 | - |
| | 1500 | 1,690 | - | + 3,67 | + 2,44 | + 1,83 | + 0,61 | - 0,44 | - 1,31 | - 1,75 | - 2,62 | - |
| | 1600 | 1,795 | - | + 3,71 | + 2,47 | + 1,85 | + 0,62 | - 0,49 | - 1,46 | - 1,94 | - 2,91 | - |
| | 2500 | 2,030 | - | + 4,03 | + 2,68 | + 2,01 | + 0,67 | - 0,53 | - 1,60 | - 3,13 | - 3,20 | - |
| $\Delta V_{0T_{3M}}$ | 900 | 0,105 | + 29,20 | + 21,90 | + 14,60 | + 10,95 | + 3,65 | - 3,65 | - 10,95 | - 14,60 | - 21,90 | - 29,20 |
| | 1000 | 0,990 | + 29,14 | + 21,86 | + 14,57 | + 10,93 | + 3,64 | - 3,64 | - 10,93 | - 14,57 | - 21,86 | - 29,14 |
| | 1300 | 1,095 | + 28,76 | + 21,57 | + 14,38 | + 10,78 | + 3,59 | - 3,59 | - 10,78 | - 14,38 | - 21,57 | - 28,76 |
| | 1500 | 1,690 | + 28,62 | + 21,46 | + 14,31 | + 10,73 | + 3,58 | - 3,58 | - 10,73 | - 14,31 | - 21,46 | - 28,62 |
| | 1600 | 1,795 | + 28,46 | + 21,34 | + 14,23 | + 10,67 | + 3,56 | - 3,56 | - 10,67 | - 14,23 | - 21,34 | - 28,46 |
| | 2500 | 2,030 | + 28,31 | + 21,23 | + 14,15 | + 10,61 | + 3,53 | - 3,53 | - 10,61 | - 14,15 | - 21,23 | - 28,31 |
| ΔV_{0q} | Вагові знаки | | - 4 | - 3 | - 2 | - 1 | - | + 1 | + 2 | + 3 | + 4 | |
| | 900 | 0,105 | - 3,04 | - 2,29 | - 1,52 | - 0,76 | - | + 0,76 | + 1,52 | + 2,29 | + 3,04 | |
| | 1000 | 0,990 | - 2,76 | - 2,07 | - 1,38 | - 0,69 | - | + 0,69 | + 1,38 | + 2,07 | + 2,76 | |
| | 1300 | 1,095 | - 2,37 | - 1,78 | - 1,18 | - 0,59 | - | + 0,59 | + 1,18 | + 1,78 | + 2,37 | |
| | 1500 | 1,690 | - 2,06 | - 1,54 | - 1,03 | - 0,52 | - | + 0,52 | + 1,03 | + 1,54 | + 2,06 | |
| | 1600 | 1,795 | - 1,91 | - 1,44 | - 0,96 | - 0,48 | - | + 0,48 | + 0,96 | + 1,44 | + 1,91 | |
| | 2500 | 2,030 | - 1,63 | - 1,22 | - 0,81 | - 0,41 | - | + 0,41 | + 0,81 | + 1,22 | + 1,63 | |

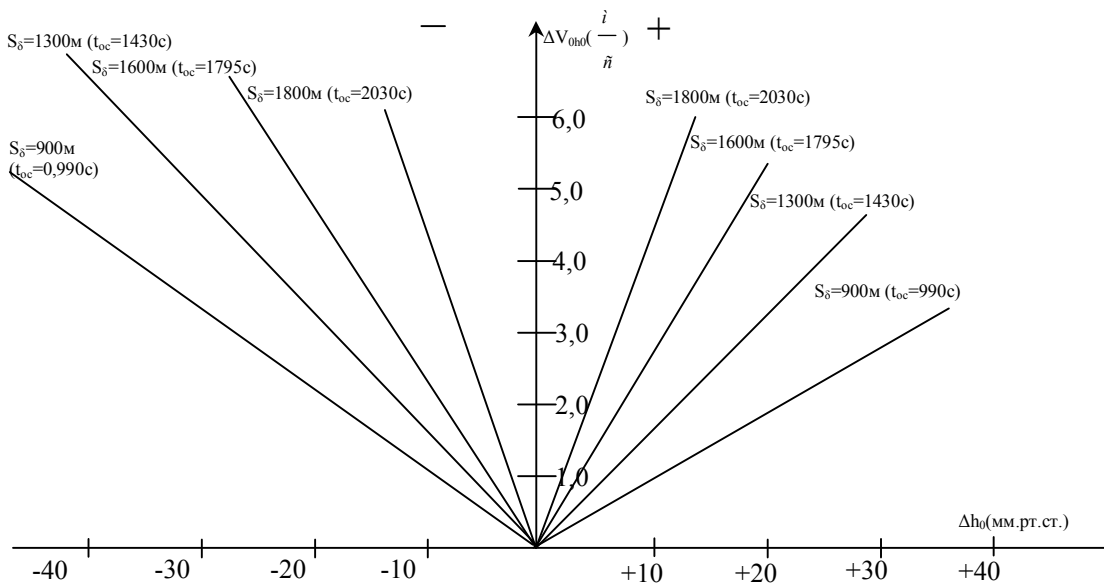


Рис. 1. Залежність величини ΔV_{0h_0} від S_δ та Δh_0 для 152мм СП 2С5

Виміряна швидкість снаряда в точці затухання нутаційних коливань (другий спосіб), яка приведена до табличних умов визначається по залежності [7]:

$$V_{\text{вим.сер.}} = V_{\text{БН}} + \frac{\partial V_{\delta}}{\partial h_0} \Delta h_0 + \frac{\partial V_{\delta}}{\partial \tau} \Delta \tau + \frac{\partial V_{\delta}}{\partial w_x} w_x + \Delta V_{0\text{ТЗ}} + \Delta V_{0\text{q}} + \frac{\partial V_{\delta}}{\partial q_c} \Delta q_c \quad (4)$$

де $V_{\text{вим.сер.}}$ – виміряне значення середньої швидкості снаряда за допомогою перспективної балістичної станції в точці затухання нутаційних коливань; $\frac{\partial V_{\delta}}{\partial \alpha_i}$ – поправочні коефіцієнти у швидкості снаряда на відхилення α_i ; фактора для точки затухання нутаційних коливань, розраховані за допомогою СДР [12].

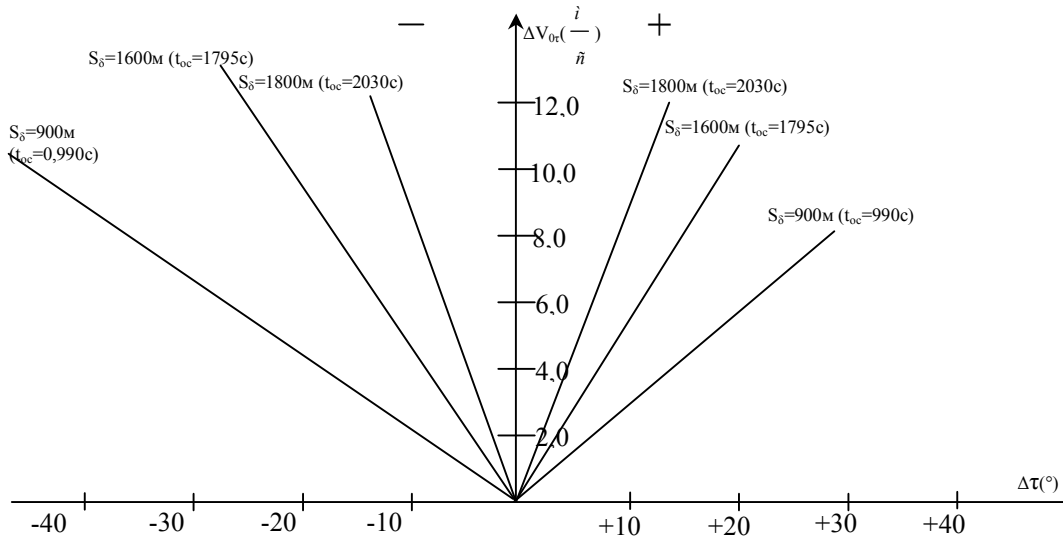


Рис. 2. Залежність $\Delta V_{0\tau}$ від S_{δ} и $\Delta \tau$ для 152мм СП 2С5

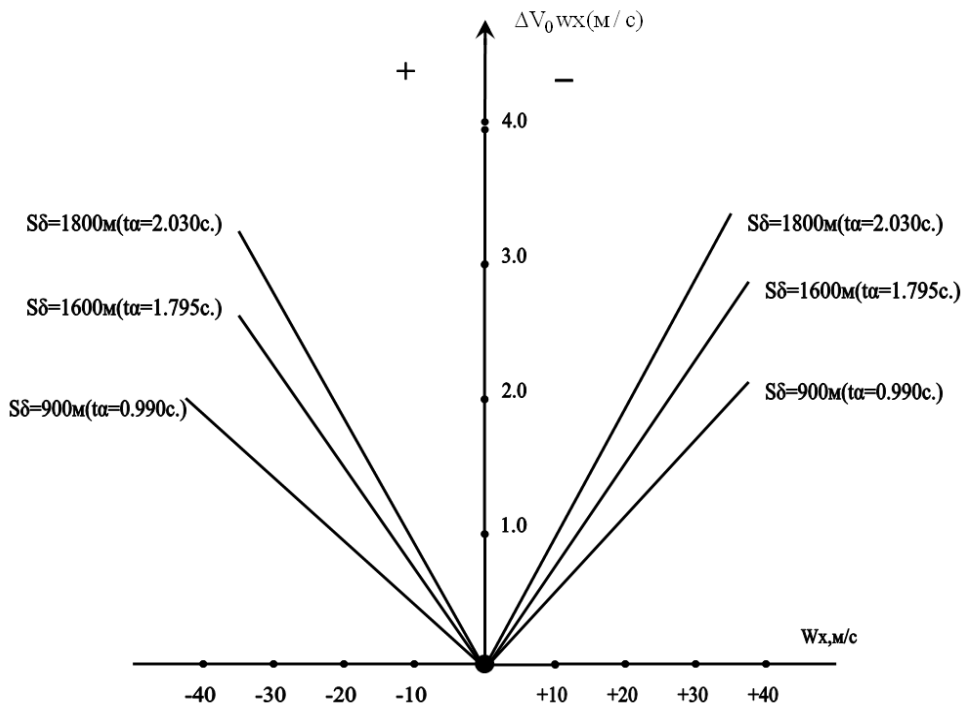


Рис. 3. Залежність величини ΔV_{0wx} від S_{δ} і W_x для 152-мм СП 2С5

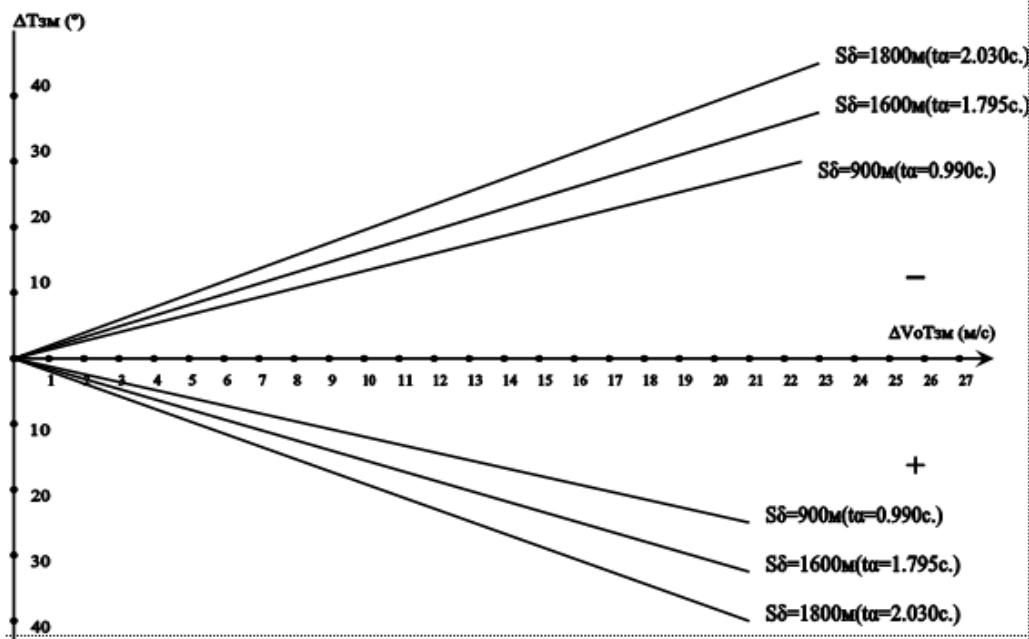


Рис. 4. Залежність величини ΔV_{0T3M} від $S\delta$ та $\Delta T3M$ для 152-мм СП 2С5

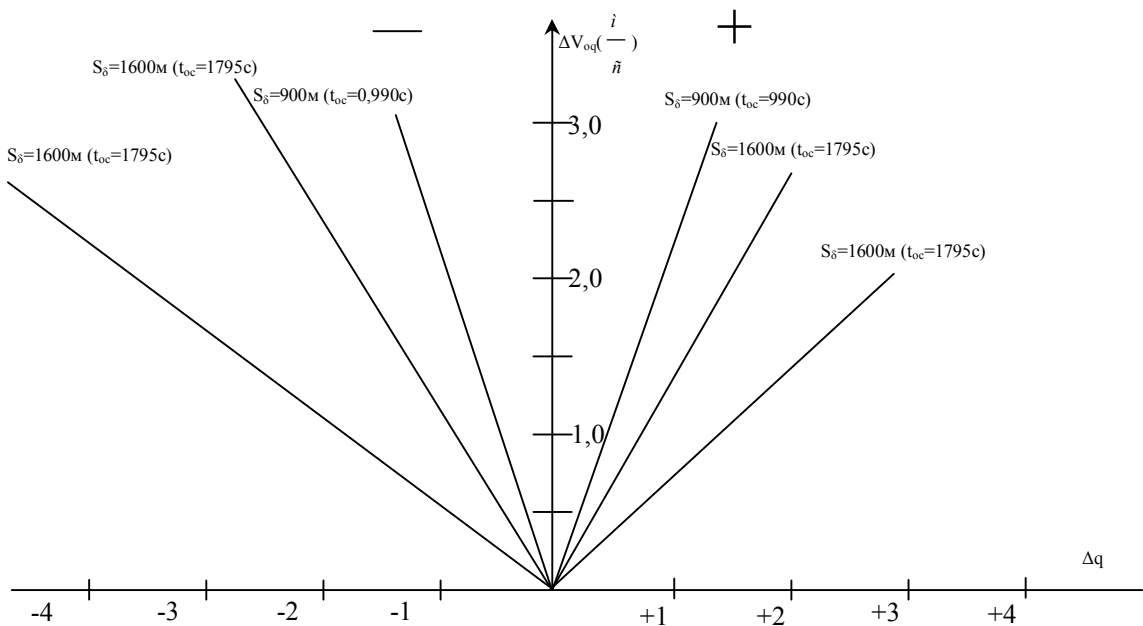


Рис. 5. Залежність величини ΔV_{0q} від $S\delta$ і Δq для 152-мм СП 2С5

Тоді, відхилення швидкості снаряда від табличної в точці затухання нутаційних коливань приведені до табличних умов визначається:

$$\Delta V_{0БН} = \frac{V_{0БН} - V_{IT}}{V_{IT}} 100\%, \quad (5)$$

де V_{IT} – табличне значення швидкості снаряда в точці затухання нутаційних коливань, визначається за допомогою СДР [12].

Виміряна швидкість снаряда в точці затухання нутаційних коливань по групі рахованих пострілів знайдеться із:

$$V_{\text{вим.сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\delta i}}{n}, \quad (6)$$

де $V_{\delta i}$ – виміряне значення швидкості снаряда за допомогою перспективної балістичної станції в точці затухання нутаційних коливань $S\delta$.

Звідси поправка у дальність через відхилення швидкості у точці затухання нутаційних коливань визначається по залежності:

$$\Delta X_{\delta} = \frac{\partial X}{\partial V_{\delta}} \Delta V_{0\text{БН}}, \quad (7)$$

де $-\frac{\partial X}{\partial V_{0\delta}}$ – поправочні коефіцієнти у дальність на відхилення швидкості снаряда в точці затухання нутаційних коливань, можуть бути розраховані за допомогою СДР [12]. Даний алгоритм може бути закладений в ЕОМ перспективної балістичної станції.

Висновки

Метод нормалізації, який застосовується в АБС-1М не ураховує вплив сили опору повітря та зниження дотичної до траєкторії за рахунок прискорення сили тяжіння. Серединна помилка нормалізації складає $0,2 \div 0,39\% V_0$.

Таким чином, помилки визначення швидкості будуть складати $\delta_{\Delta V_{0\text{Н}}} = 0,25\% V_0$. Цей метод може застосовуватися тільки при вимірюванні швидкості снаряда на ділянці 100 – 150 м від дульного зрізу ствола.

Запропонований метод нормалізації враховує метеорологічні та балістичні умови польоту снаряда на ділянці вимірювання швидкості 1800 – 2500 м від дульного зрізу ствола. Серединна помилка нормалізації даним методом складає $0,10 \div 0,12\% V_0$. При застосуванні цього метода точність визначення $\Delta V_{0\text{сум}}$ зростає практично в двічі.

Розроблені способи нормалізації вимірної швидкості снаряда можуть бути використані у практиці бойової підготовки військ з використанням перспективної балістичної станції.

Список літератури

1. Правила стрільби і управління вогнем артилерії (група, дивізіон, батарея, взвод, гармата). – К.: Варта, 2008. – 255 с.
2. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
3. Макеєв В.І. Балістична підготовка стрільби, методи і засоби її удосконалення // В.І. Макеєв та ін. – СумДУ, 2008. – 220 с.
4. Лысенко Л.Н. Баллистика ствольных систем. Справочная библиотека разработчика-исследователя / Л.Н. Лысенко, В.В. Грабин и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.
5. Теоретические основы стрельбы наземной артиллерии: учебник. – МО СССР, 1976. – 345 с.
6. Возможные способы учета нутационных колебаний на дальность полета снаряда // Военный вестник. – М.: Воениздат, 1987. – 20 с.
7. Орлов Б.В. Внешняя и внутренняя баллистика активно-реактивных снарядов / Б.В. Орлов и др. – М.: Издательство ЦНИИ, 1978. – 134 с.
8. Равдин И.Ф. Внешняя баллистика неуправляемых ракет и снарядов / И.Ф. Равдин. – МО СССР, 1976. – 184 с.
9. Монченко Н.М. Инженерный расчётный метод определения аэродинамических характеристик снарядов ствольной артиллерии / Н.М. Монченко // Научный сборник. – М.: НИИ-3, 1982. – 34 с.
10. Макеєв В.І. Математична модель просторового руху літального апарату на твердому паливі в атмосфері / В.І. Макеєв та ін. // Вісник СумДУ. – 2008. – № 2. – С. 35-40.
11. Зубков А.Н. 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.

Надійшла до редколегії 12.10.2010

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗМЕРЕННОЙ СКОРОСТИ СНАРЯДА НА РАЗНЫХ УДАЛЕНИЯХ ОТ ДУЛЬНОГО СРЕЗА СТВОЛА

П.Е. Трофименко, В.И. Макеєв

В статье проведено исследование методов нормализации измеренной скорости снаряда на разных удалениях от дульного среза канала ствола орудия, рассчитаны поправки в скорость снаряда, которые определяются с помощью АБС-1М и ПБС, наведено методику определения отклонения скорости снаряда от табличной в точке угасания нутационных колебаний.

Ключевые слова: методы нормализации, измеренная скорость снаряда, поправки к скорости, нутационные колебания.

DEVELOPMENT OF METHODS OF MEASURING NORMALIZATION PROJECTILE VELOCITY AT DIFFERENT DISTANCES FROM THE MUZZLE BARREL

P.E. Trofimenko, V.I. Makeyev

The paper studied the methods of normalizing the measured velocity of the projectile at different distances from the muzzle of the barrel guns, calculated corrections in the velocity of the projectile, which was determined with the help of ABS-1M PBS, point method for determining the deviation of the velocity projectile from a table at the point of extinction of nutation oscillations.

Keywords: methods of normalization, the measured velocity of the projectile, amendments rate fluctuations nutation oscillations.