

УДК 623.546

В.Є. Житник<sup>1</sup>, В.М. Петренко<sup>1</sup>, П.Є. Трофименко<sup>1</sup>, В.І. Грідін<sup>2</sup><sup>1</sup>Сумський державний університет, Суми<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## УРАХУВАННЯ УМОВ ВІЛЬОТУ СНАРЯДА ІЗ КАНАЛУ СТВОЛА ЗА ДОПОМОГОЮ БАЛІСТИЧНОЇ СТАНЦІЇ

В статті, на основі розробленої математичної моделі просторового руху снаряда (міни), виявлені фактори, які раніше не враховувались під час підготовки установок для стрільби, пропонуються методи визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда в точці затухання нутаційних коливань та запропоновано використання нової балістичної станції здатної вимірювати швидкість снаряда під час стрільби на ураження, що сприяє значному підвищенню точності повної підготовки і, як результат, – підвищенню ефективності вогневого ураження противника.

**Ключеві слова:** нутаційні коливання, початкова швидкість снаряда, балістична станція.

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз літератури.

В сучасних умовах під час підготовки установок для стрільби не враховуються нутаційні коливання снаряда після вильоту його з каналу ствола, які викликані початковим збуренням, зносом каналу ствола та його розігрівом внаслідок інтенсивної стрільби.

Під час визначення початкової швидкості снаряда для конкретної гармати, снаряда і заряду даної партії, існуюча балістична станція АБС-1м не враховує вплив нутаційних коливань снаряда викликаних початковими збуреннями, розігрівом ствола під час інтенсивної стрільби. За допомогою АБС-1 швидкість снаряда вимірюється на відстанях 100 – 150 м від дульного зрізу ствола, а нутаційні коливання затухають на відстані 1600 – 2500 м [1]. Стрільба в реальних умовах із гармат з середнім або великим зносом каналу ствола, а також під час розігріву стволів в результаті інтенсивної стрільби, буде супроводжуватися значними початковими збуреннями, які призведуть до збільшення кутів нутації на траєкторії і, як результат, до значних відхилень дальності стрільби від розрахованої.

Таким чином, існуючі методи визначення початкової швидкості снаряда [2] (а відповідно і  $\Delta V_{0\text{пг}}$ ) за допомогою існуючої АБС-1м в реальних умовах (особливо під час стрільби з гармат, які мають суттєвий знос стволів та під час інтенсивної стрільби) не відповідають вимогам точності повної підготовки, в результаті чого ефективність ураження цілей знижується [3].

За останні роки проведені дослідження проблеми врахування впливу нутаційних коливань на дальність польоту снарядів [4], розробка нових методик визначення аеродинамічних характеристик снарядів [3] показали, що нутаційні коливання зростають під час зносу каналу ствола і його розігріву

внаслідок інтенсивної стрільби. Але в даних роботах не даються відповіді про те, як врахувати вплив нутаційних коливань на дальність польоту снаряда (міни), через які балістичні характеристики снарядів: початкову швидкість снаряда, балістичний коефіцієнт чи інше [4].

Звідси, виникла необхідність надання рекомендацій щодо виміру швидкостей снаряда перспективною балістичною станцією нового покоління в точці затухання нутаційних коливань ( $S\delta$ ).

**Мета статті** – запропонувати новий метод визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда, який забезпечить вимірювання швидкості снаряда в точці затухання нутаційних коливань та нову балістичну станцію, яка встановлюється на кожній гарматі.

### Викладення матеріалів дослідження

Збільшення діаметральних розмірів ствола внаслідок розігріву і поява дульного розтрубу призводить до збільшення кутів нутації.

Із дослідних даних відомо, що під час стрільби із гармат з середнім зносом каналу ствола або розігрітого нового ствола внаслідок інтенсивної стрільби, максимальне значення кутів нутації ( $\delta_{\text{max}}$ ) на початковій ділянці траєкторії може досягати  $5^\circ - 7^\circ$ , а під час нагріву ствола з середнім зносом – до  $10^\circ$ , для ствола зі значним зносом: до  $13^\circ - 15^\circ$  [3, 4].

Сьогодні під час підготовки вихідних даних для стрільби і під час стрільби не враховуються умови вильоту снаряда із ствола, які визначають характер нутаційних коливань снаряда на траєкторії.

Інтегруванням системи диференціальних рівнянь просторового руху снарядів, двічі [1] коли  $\delta_0 \neq 0$ ,  $\dot{\delta}_0 \neq 0$  і, якщо  $\delta_0 = 0$ ,  $\dot{\delta}_0 = 0$ , та порівнюючи результати інтегрування, було оцінено вплив нутаційних коливань на повну дальність польоту за формулою:

$$\Delta X_{\delta} = \frac{X_c - X_{ct}}{X_{ct}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $\Delta X_{\delta}$  – відхилення дальності внаслідок нутаційних коливань;

$X_c, X_{ct}$  – значення дальності польоту в точці

падіння снаряда, коли  $\delta_0 \neq 0, \dot{\delta}_0 \neq 0$  і  $\delta_0 = 0, \dot{\delta}_0 = 0$  відповідно.

Результати розрахунків  $\Delta X_{\delta}$  для деяких артилерійських систем за фіксованих значень  $\delta_{max}$  наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Величина відхилення в дальності  $\Delta X_{\delta}$  залежно від кута нутації  $\delta_{max}$

Відхилення в дальності	Артилерійська система (кути кидання)	$\delta_{max}$ , град									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$\Delta X_{\delta}$ , в %X	152-мм пушка ( $\Theta_0=0,7964$ рад)	0,05	0,08	0,15	0,25	0,36	0,55	0,73	0,92	1,36	
	203,2-мм пушка ( $\Theta_0=0,8910$ рад)	0,07	0,15	0,31	0,50	0,62	0,81	1,12	1,32	1,65	

За даними, наведеними в таблиці, можна зробити такі висновки:

1. Вплив нутаційних коливань на дальність якщо кути  $\delta_{max} \leq 2^{\circ}-3^{\circ}$ , тобто для нових стволів, з малою витратою боєприпасів, є незначним.

2. Під час стрільби із гармат з середнім зносом ствола та нових стволів під час розігріву, в результаті інтенсивної стрільби, відхилення в дальності можуть складати (0,5 – 0,8)% дальності, а для стволів з середнім зносом внаслідок інтенсивної стрільби (1,3 – 1,6) % дальності.

3. Для стволів зі значним зносом відхилення в дальності, як показали розрахунки, можуть досягати 2 – 2,5 % дальності.

Зазначені розрахунки підтверджуються практичними стрільбами, проведеними науководослідним інститутом НДІ-37 (м. Ленінград) в Забайкальському військовому окрузі (Росія) [4]. Результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Величини відхилень в дальності  $\Delta X_{\delta}$  внаслідок розігріву стволів під час інтенсивної стрільби

Найменування систем	Кількість снарядів, випущених із однієї гармати, шт.	Відхилення в дальності $\Delta X_{\delta}$ , м
152-мм СП	90	недоліт 600
152-мм СП	140	недоліт 1500
152-мм П 2А36	30	недоліт 300

Такі відхилення по дальності у процесі стрільби необхідно враховувати тому, що це може приводити до не виконання вогневого завдання.

Через те, що нутаційні коливання, викликані початковими збуреннями швидко згасають, їх урахування можливе на початковій ділянці траєкторії.

Як показали розрахунки, дальність, на якій проходить затухання нутаційних коливань  $S\delta$  для стволів з різним зносом складає 1600 – 2500 м [1].

Проведені дослідження показали, що середина помилка визначення  $\Delta V_{0сум}$  для кожної гармати повинна складати не більше 0,2%  $V_0$  [1, 5]. Дана точність може бути забезпечена за умови визначення  $\Delta V_{0сум}$  кожній гарматі за допомогою нової АБС, яка вимірює швидкість снаряда в точці затухання нутаційних коливань ( $S\delta = 2500$  м) [6]. Прилад виміру початкової швидкості снаряда повинен встановлюватися на кожній гарматі. Вимірювання швидкості снаряда відбувається за допомогою доплерівського радіолокатора. Радіолокаційний передатчик вмикається під час спалаху дульного полум'я. Антенний блок приладу може мати масу до 15 кг. Він закріплений на гарматі таким чином, що переміщується по горизонталі і вертикалі разом з нею. В його склад входять датчики дульного полум'я і з'єднувальний прилад, який дозволяє підключити до неї окремий датчик. Антена з'єднана кабелем з візуальним індикатором. Інструментальна помилка вимірювання швидкості снаряда для перспективної АБС, як свідчать проведені розрахунки, може бути  $E_{\delta V_{in}} \leq 0,1\% V_0$  [5].

Вплив нутаційних коливань через інші елементи траєкторії, як показали розрахунки, незначні і складають (0,1-0,15)% дальності, тому їх урахування пропонується через зміну швидкості.

Тоді відхилення початкової швидкості снаряда від табличного значення в точці затухання нутаційних коливань буде визначатися за залежністю (2).

$$\Delta V_{\delta} = \frac{V_{\delta} - V_{\delta T}}{V_{\delta T}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $V_{\delta}$  – виміряна швидкість снаряда в точці  $S\delta$ , приведена до табличних умов;  $V_{\delta T}$  – таблична шви-

джість снаряду для точки  $S\delta$  визначається інтегруванням системи диференціальних рівнянь [1].

Перевага даного способу перед існуючим, який закладений в АБС-1м полягає в тому, що він не потребує приведення вимірної швидкості снаряду до дульного зрізу. Нормалізація проводитиметься за допомогою ЕОМ тільки для точки  $S\delta$ . Тоді поправка дальності визначатиметься за формулою (3).

$$\Delta D_6 = \frac{\partial x}{\partial V_6} \Delta V_6, \quad (3)$$

де  $\frac{\partial x}{\partial V_6}$  – табличне значення поправочного коефіцієнта, зміна дальності внаслідок зміни швидкості снаряда на 1%  $V_0$  в точці  $S\delta$ ;

$\Delta V_6$  – відхилення початкової швидкості снаряда від табличного значення, визначається за залежністю (2).

ЕОМ перспективної балістичної станції повинна дозволяти вводити дані про артилерійську систему, балістичні характеристики боєприпасів, умови стрільби: початкову швидкість снаряда, заряд, підривник і т.д.

Перевагою запропонованого способу є те, що поправку в дальність  $\Delta D_6$  (приціл, рівень) може визначати командир кожної гармати і вводити в прицільні пристрої, тобто практично врахування впливу нутаційних коливань, розігрів стволів та інші фактори можуть враховуватись під час виконання вогневого завдання [5].

Розробимо рекомендації щодо урахування розігріву стволів під час інтенсивної стрільби за допомогою нової балістичної станції

В ході виконання вогневих завдань артилерійськими підрозділами внаслідок розігріву ствола виникає зміщення центра групування розривів снарядів (ЦГРС) від точки прицілювання по дальності, не врахування якого, може привести до зниження ефективності вогню, а в окремих випадках – до невиконання вогневого завдання (табл. 2).

Величина і знак зміщення ЦГРС для конкретної артилерійської системи залежить від номера заряду, на якому ведеться стрільба, кількості пострілів і режиму вогню. Основною причиною зміщення ЦГРС, внаслідок розігріву ствола гармати внаслідок інтенсивної стрільби є зміна балістичних характеристик снарядів: початкової швидкості  $\delta V_{0грс}$  і балістичного коефіцієнта  $\delta C_{рс}$ . Розігрів ствола супроводжується його тепловим розширенням, вигином і зміною теплових умов роботи заряду. Теплове розширення приводить до зменшення щільності заряджання і тиску форсування. З цієї причини початкова швидкість падає.

Передбачається врахування розігріву ствола гармати під час інтенсивної стрільби проводити через періодичне уточнення сумарного відхилення початкової швидкості снарядів (по перших 3 – 4 по-

стрілах) в ході виконання вогневого завдання за допомогою перспективної балістичної станції. Якщо на кожній гарматі встановлена балістична станція, тоді командир кожної гармати самостійно зможе періодично вводити поправки в приціл ( $\Delta\Pi$ ) або рівень ( $\Delta P_{ів}$ ) на різницю сумарних відхилень початкових швидкостей під час підготовки установок і в ході стрільби на ураження за залежністю:

$$\Delta\Pi(\Delta P_{ів.}) = \frac{\Delta X_{V_0} (\Delta V_{0сум}^{вмір} - \Delta V_{0сум}^{розр})}{\Delta X_{тис}}, \quad (4)$$

де  $\Delta V_{0сум}^{вмір}$  – сумарне відхилення початкової швидкості снарядів вимірної за результатами 3-4 пострілів балістичною станцією в ході стрільби на ураження;

$\Delta V_{0сум}^{розр}$  – сумарне відхилення початкової швидкості снарядів, вимірної балістичною станцією під час визначення установок для стрільби;

$\Delta X_{V_0}$  – зміна дальності внаслідок зміни початкової швидкості на 1%  $V_0$ ;

$\Delta X_{тис}$  – зміна дальності внаслідок зміни прицілу на 1 тисячну.

Сумарне відхилення початкової швидкості снарядів,  $\Delta V_{0сум}^{вмір}$  визначається в ході вогневого спостереження або в ході вогневого нальоту.

Оцінимо ефективність запропонованого методу визначення сумарного відхилення початкової швидкості снарядів за допомогою перспективною балістичної станції.

Розрахунки оцінки ефективності запропонованого способу визначення  $\Delta V_{0сум}$  проведені за відомими залежностями [6, 7].

Ймовірність ураження окремої цілі

$$P = 1 - 4 \sum_{z_j=0}^{5E_z} Q(z_j) \sum_{x_i=0}^{5E_x} Q(x_i) q(x_i; z_j). \quad (5)$$

Математичне очікування відносного числа уражених цілей із складу групової, визначається за формулами [6, 7].

$$M[a] = \frac{M[a']}{\Gamma_{ц} \cdot \Phi_{ц}}, \quad (6)$$

$$\text{де } M[a'] = \int_{-0,5\Gamma_{ц}}^{+0,5\Gamma_{ц}} \int_{-0,5\Gamma_{ц}}^{+0,5\Gamma_{ц}} \frac{1}{\Gamma_{ц} \cdot \Phi_{ц}} P(v_x, v_z) dv_x dv_z. \quad (7)$$

Аналіз результатів розрахунків проведених за залежностями (5, 6) показує, що під час вимірювання швидкості снаряда для кожної гармати в точці затухання нутаційних коливань, під час стрільби із гармат, які мають знос (нагрів) ствола, відносно підвищення показника ефективності у порівнянні з існуючими способами в середньому складає 25 %.

Приймемо в якості вихідного, що спосіб буде доцільним в тому випадку, якщо відносне підвищення показника ефективності буде

$$\Delta M(\Delta P) \geq 0,1, (10\%) [7],$$

тоді отримані результати дозволяють зробити висновок, що використання запропонованого способу визначення сумарного відхилення початкової швидкості для кожної гармати, що виконує вогневе завдання, а відповідно і прийняття на озброєння перспективної БС є доцільним.

### Висновки

1. Запропонований в статті метод визначення сумарного відхилення початкової швидкості снаряда в точці затухання нутаційних коливань ( $S_8$ ) та перспективна балістична станція, яка встановлена на кожній гарматі і здатна вимірювати швидкість снаряда як під час проведення заходів підготовки стрільби і управління вогнем, так і в процесі стрільби на ураження, сприяють значному підвищенню точності повної підготовки і, як результат, – підвищенню ефективності вогневого ураження противника.

2. Запропонований в статті метод врахування розігріву ствола під час інтенсивної стрільби, дозволить ліквідувати зміщення центру групування розривів снарядів від цілі шляхом введення коректур в приціл або рівень за допомогою перспективної балістичної станції, що значно підвищує ефективність вогню під час стрільби на ураження.

3. Аналіз результатів розрахунків показує, що вимірювання швидкості снаряда для кожної гармати в точці затухання нутаційних коливань, під час стрільби із гармат, які мають знос (нагрів) ствола,

відносно підвищення показника ефективності у порівнянні з існуючими способами в середньому складає 25% [5].

4. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що використання запропонованого способу визначення сумарного відхилення початкової швидкості для кожної гармати, що виконує вогневе завдання, а відповідно і прийняття на озброєння перспективної БС, є доцільним [5].

### Список літератури

1. *Макеев В.И. Совершенствование методов и средств баллистической подготовки активно-реактивных снарядов и мин: дис. ... канд. техн. наук./ В.И. Макеев. – Л.: ВВА, 1983. – 237 с.*
2. *Правила стрільби і управління вогнем артилерії (група, дивізіон, батарея, взвод, гармата). – К.: Видавництво «Варта», 1995. – 304 с.*
3. *Монченко Н.М. Инженерный расчетный метод определения аэродинамических характеристик снарядов ствольной артиллерии / Н.М. Монченко. – М.: НИИ-3, 1982. – 34 с.*
4. *Можливі засоби обліку впливу нутаційних коливань на дальність польоту снаряду. Військовий вісник. – М.: Воєніздат, 1987. – 20 с.*
5. *Балістична підготовка стрільби, методи і засоби її удосконалення / М.М. Ляпа, В.І. Макеев, В.М. Петренко, В.Є. Житник. – Видавництво СумДУ. – 2008. – 161 с.*
6. *Теория стрельбы наземной артиллерии. – Л.: ВВА, 1966. – 521 с.*
7. *Вероятностные методы оценки эффективности вооружения. – М.: Воениздат, 1979. – 93 с.*

Надійшла до редколегії 21.04.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### УЧЕТ УСЛОВИЙ ВЫЛЕТА СНАРЯДА ИЗ КАНАЛА СТВОЛА С ПОМОЩЬЮ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В.Е. Житник, В.Н. Петренко, П.Е. Трофименко, В.И. Гридин

*В статье, на основе разработанной математической модели пространственного движения снаряда (мины), выявлены факторы, которые раньше не учитывались при подготовке установок для стрельбы, предлагаются методы определения суммарного отклонения начальной скорости снаряда в точке затухания нутационных колебаний та предложено использование новой баллистической станции способной измерять скорость снаряда при стрельбе на поражение, что способствует существенному повышению точности полной подготовки и, как результат, – повышению эффективности огневого поражения противника.*

**Ключевые слова:** нутационные колебания, начальная скорость снаряда, баллистическая станция.

### CALCULATION OF CONDITIONS OF THE DEPARTURE OF THE SHELL FROM THE TRUNKS CANAL BY MEANS OF BALLISTIC STATION

V.E. Zhitnik, V.N. Petrenko, P.E. Trofimenko, V.I. Gridin

*In article, on the basis of the developed mathematical model of dimensional locomotion of a shell (mine), factors which were not considered by preparation of installations for shooting earlier are revealed, methods of definition of a total deflection of initial velocity of a shell in a decay point of nutation fluctuations that are offered it is offered capable to measure use of new ballistic station speed of a shell at firing for effect that promotes essential increase of accuracy of full preparation and as result, - to increase of efficacy of a hot-fire lesion of the enemy.*

**Keywords:** nutation fluctuations, initial velocity of a shell, ballistic station.