

УДК 355

В.І. Макеєв, А.М. Кривошеєв

Кафедра військової підготовки Сумського державного університету, Суми

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ УРАХУВАННЯ УМОВ ВИЛЬОТУ СНАРЯДУ (МІНИ) ЗІ СТВОЛУ

Проведено дослідження ступеня впливу різноманітних збуджуючих факторів на політ снарядів (мін), визначені основні балістичні фактори, вплив яких належить враховувати під час стрільби снарядів (мін), зроблена оцінка точності сучасних методів і засобів балістичної підготовки. Досліджуються умови впливу коливально-го руху снарядів (мін) на поступовий рух центра мас снаряду, на основі чого розроблюються способи урахування нутаційних коливань, що виникають під час вильоту снаряду із каналу ствола.

Ключові слова: артилерія, балістична і метеорологічна підготовки стрільби, відстань, міна, поправки, нутаційні коливання, снаряд, система диференціальних рівнянь.

Вступ

Постановка проблеми. У теперішній час точність визначення установок для стрільби артилерійськими боєприпасами різного класу на основі повної підготовки за рядом чинників і особливо, із-за недосконалості сучасних методів і засобів балістичної підготовки стрільби, не повною мірою відповідає технічним можливостям матеріальної частини і боєприпасів, що приводить до зниження ефективності вогню артилерії.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. Як відомо [11], основу балістичної підготовки стрільби звичайних снарядів складає визначення сумарного відхилення початкової швидкості снарядів, а також визначення температури металюного заряду. Для активно-реактивних снарядів (мін) (АРС, АРМ) до балістичних факторів, крім того, відносяться: одиничний імпульс сили тяжіння, термін роботи двигуну, вага реактивного заряду, температура реактивного заряду, час вмикання двигуна після вильоту із каналу ствола [4].

Відмітимо, що сучасні методи балістичної підготовки стрільби снарядів (мін) **не враховують:**

- умов вильоту снаряду (міни) із каналу ствола, які визначають характер нутаційних коливань снаряду (міни) на траєкторії;
- відхилення параметрів роботи двигуну від табличних (номінальних);
- вплив температури реактивного заряду на розбіжність значень одиничного імпульсу тяги і терміну роботи двигуна;
- поправки на нелінійність і взаємозалежність збуджуючих факторів на великих відстанях стрільби.

У цих умовах актуальними стають дослідження ступеня впливу різноманітних збуджуючих факторів на політ снарядів (мін), визначення основних балістичних факторів, вплив яких належить враховувати під час стрільби снарядів (мін), оцінка точності сучасних методів і засобів балістичної підготовки, а також дослідження необхідності врахування впливу нутаційних коливань на дальину польоту снарядів (мін).

Викладення основного матеріалу

У даній статті надамо рекомендації щодо врахування впливу нутаційних коливань на дальину польоту снаряду (міни).

У літературі з питань зовнішньої балістики [2, 4] розглядаються питання впливу коливального руху снарядів (мін) на рух центра мас.

Однак внаслідок недостатньої вірогідності значень аеродинамічних характеристик снарядів у системі диференціальних рівнянь, отримання об'єктивних параметрів нутаційних коливань снарядів було неможливим.

У теперішній час розроблена методика розрахунку аеродинамічних коефіцієнтів і інерційно-вагових характеристик, яка дозволяє визначати аеродинамічні коефіцієнти з більш високою точністю у порівнянні з методиками, які використовувалися раніше [6,7].

Характер, параметри нутаційних коливань і їх вплив на політ снарядів (мін) за умови однаковості інших умов визначається рівнем початкових збуджень (початкових кутів δ_0 і кутових швидкостей $\dot{\delta}_0$).

Визначення початкових умов (і перш за все δ_0 і $\dot{\delta}_0$), що необхідні для інтегрування системи диференціальних рівнянь польоту снаряду у просторі [8], є важливим завданням, від якого залежить отримання об'єктивних кількісних параметрів впливу нутаційних коливань на політ снарядів (мін).

З довідкових даних і проведених досліджень [4, 6, 7, 10] відомо, що під час стрільби з гармат, що мають новий ствол, максимальне значення кутів нутації на початковій ділянці траєкторії складає $\delta_{\max 1} = 3 \dots 4^\circ$, для стволів з середньою виробкою – $\delta_{\max 1} = 5 \dots 10^\circ$, для стволів зі значною виробкою або під час розігріву ствола з середньою виробкою – $\delta_{\max 1} = 11 \dots 15^\circ$.

Відомо [4], що для снарядів, які обертаються, основний вплив здійснює кутова швидкість нутації $\dot{\delta}_0$. Для переходу від $\delta_{\max 1}$ до $\dot{\delta}_0$ здійснимо інте-

грування системи диференціальних рівнянь [8] за умови $\delta_{\max 1} = 15^\circ$ для різних варіантів снарядів (мін). В результаті отримаємо: для 152-мм СГ 2С5 снаряд ОФ-29 (ОФ-30) $\dot{\delta}_0 = 14,2 \text{ c}^{-1}$, для 152-мм СГ 2С3 снаряд ОФ-540 (ОФ-22) $\dot{\delta}_0 = 9,6 \text{ c}^{-1}$, для 203-мм СП 2С7 снаряд ОФ-44 $\dot{\delta}_0 = 8,1 \text{ c}^{-1}$, для 240-мм СМ 2С4, міна 3Ф2 – $\dot{\delta}_0 = 6,2 \text{ c}^{-1}$.

Вплив коливального руху активно-реактивних снарядів (мін) на поступовий рух його центра ваги. Нутаційні коливання снаряду (міни) впливають на траєкторію руху центра ваги через зміну сили лобового опору, а також через підйомну (нормальну) силу і силу Магнуса.

Інтегруванням системи диференціальних рівнянь [8] двічі, за умови $\delta_0 \neq 0, \dot{\delta}_0 \neq 0$ і $\delta_0 = 0, \dot{\delta}_0 = 0$, і

порівнявши результати інтегрування можна оцінити вплив нутаційних коливань на повну відстань (ΔX_δ) польоту снарядів (мін), а також на швидкість і координати у поточних точках траєкторії.

$$\Delta \alpha_\delta = \alpha_i - \alpha_{it}, \quad (1)$$

де α_i, α_{it} – значення елемента траєкторії у поточних точках або у точках падіння за умови $\delta_0 \neq 0, \dot{\delta}_0 \neq 0$ і $\delta_0 = 0, \dot{\delta}_0 = 0$, відповідно; $\Delta \alpha_\delta$ – відхилення елемента траєкторії від табличних значень внаслідок нутаційних коливань снаряду.

Результати розрахунків відхилень у відстані ΔX_δ для деяких варіантів снарядів по залежності (1) за умови фіксованих значень $\delta_{\max 1}(\delta_0)$ наведені на рис. 1.

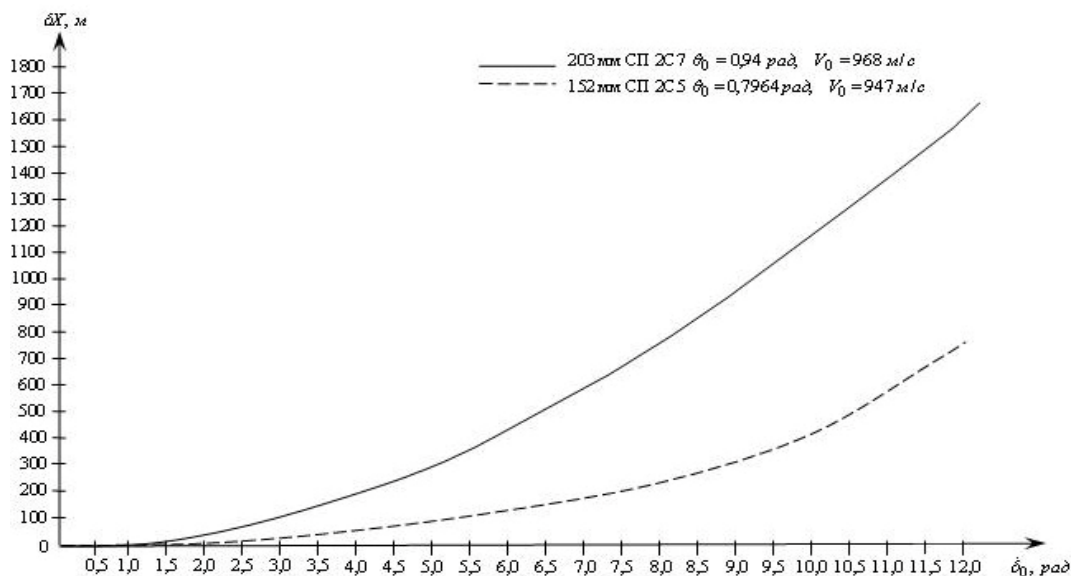


Рис. 1. Помилки відстані залежно від кутової швидкості нутації та максимального кута нутації

За даними рис. 1 можна зробити наступні висновки:

- вплив нутаційних коливань при кутах $\delta_{\max 1} = 3...4^\circ$, тобто для нових стволів, на зміну відстані незначний;
- найшвидше збільшення ΔX_δ відбувається при $\delta_{\max 1} = 7...8^\circ$, тобто для стволів з середньою виробкою або під час розігріву ствола гармати у процесі стрільби.

Проведені дослідження показують, що неврахування впливу нутаційних коливань під час стрільби зі стволів зі значною виробкою або під час розігріву ствола гармати в період інтенсивної стрільби може приводити до зменшення відстані до 2...3%, а під час стрільби зі стволів з середньою виробкою величина зменшення відстані буде мати значення порядку 0,6...1%. Для АРМ неврахування впливу нутаційних коливань для різних умов $\delta_{\max 1} = 7...8^\circ$ складає

0,5...1,3% зменшення відстані. Такі відхилення у відстані під час визначення установок для стрільби АРС (АРМ) на основі повної підготовки необхідно враховувати оскільки це може привести до невиконання вогневого завдання.

Характер і параметри нутаційних коливань снарядів (мін). В результаті інтегрування системи диференціальних рівнянь [8] для п'яти варіантів снарядів і двох варіантів мін для різних значень $\theta_0 = 20^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 80^\circ, \dot{\delta}_{10} = 0,05; 1,0; 1,5; 2,65; 4,4; 6,5; 8,0; 10,8; 14,7 \text{ c}^{-1}, \dot{\delta}_{20} = 0, \delta_{10} = 0,001; 0,0015; 0,003; 0,007; 0,01; 0,015; 0,025 \text{ рад}, \delta_{20} = 0$ отримані розв'язки, що визначають характер, амплітуду, період і інші параметри нутаційних коливань снарядів (мін). На ЕОМ було розв'язано 100 варіантів.

Характер зміни складових δ_1, δ_2 і сумарного кута δ різних варіантів снарядів (мін) залежно від часу показань представлено на рис. 2 – 4.

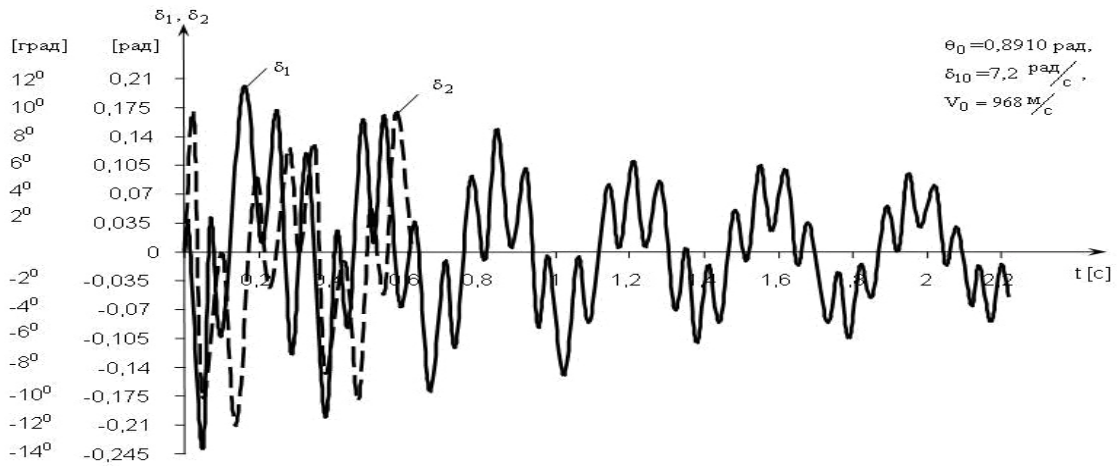


Рис. 2. Характер залежності зміни складових δ_1 , δ_2 і сумарного кута δ 152-мм снаряду залежно від часу показань

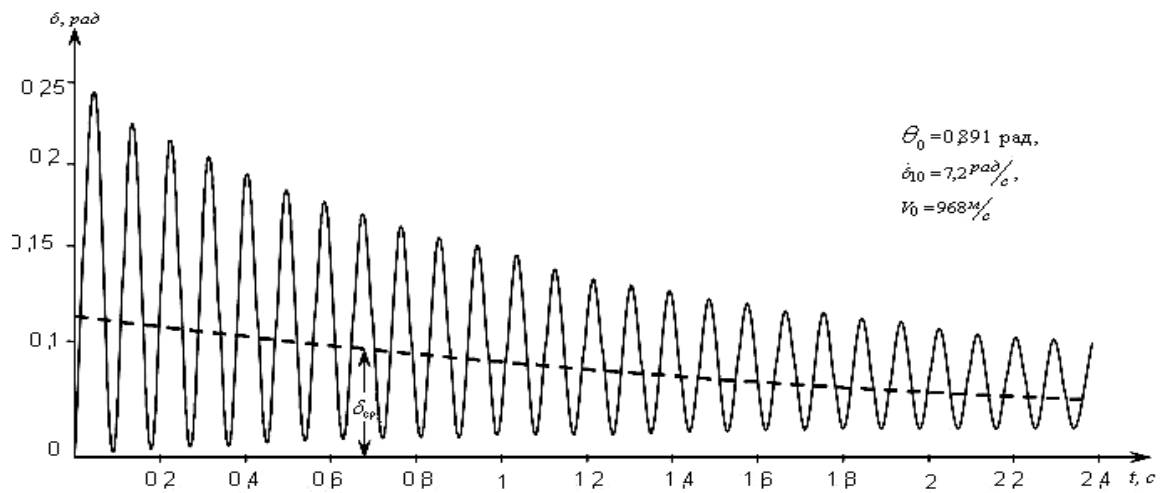


Рис. 3. Характер залежності зміни кутів δ_1 , δ_2 залежно від часу показань для 203-мм СП 2С7

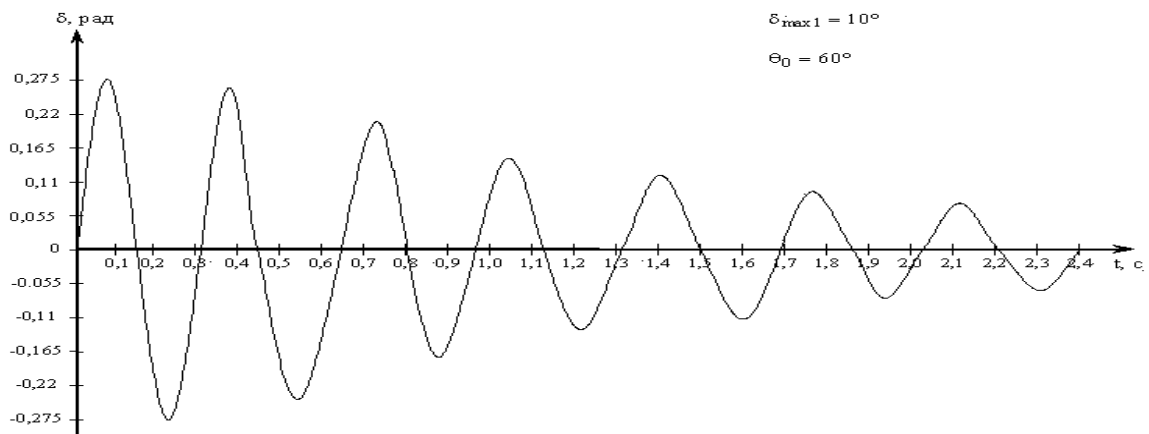


Рис. 4. Характер зміни кута δ залежно від часу для 240-мм СМ

З наданих графіків видно, що нутаційні коливання снарядів (мін) на початковій ділянці траєкторії внаслідок впливу початкових збуджень представляють собою гармонічні коливання, що за амплітудою швидко затухають. Найшвидше відбувається затухання нутаційних коливань у мін.

Нутаційні коливання осі снарядів (мін) відбуваються відносно деякого середнього значення $\delta_{\text{під}}$ (рис. 3). При цьому з плином часу зменшується і середнє значення кута нутацій $\delta_{\text{під}}$. На рис. 5, 6 показані зміни максимальних $\delta_{\max j}$ і мінімальних

$\delta_{\min j}$ значень кутів нутації та амплітуди кута нутації $\Delta\delta_j = \delta_{\max j} - \delta_{\min j}$. З наведених даних видно, що $\delta_{\max j}$ і $\Delta\delta_j$ мають максимальну величину на початку траєкторії, а потім зменшуються за мірою віддалення снаряду від точки вильоту. Починаючи з деякої точки траєкторії рух осі снаряду приймає характер псевдорегулярної прецесії із кутом нутації порядку $3 \dots 4^\circ$.

В порядку дослідження впливу різних факторів на характер і параметри нутаційних коливань були отримані залежності максимальних величин кутів нутації на ділянці затухання S_δ від виду і величини початкового збудження для всіх снарядів (мін), що досліджувалися. На рис. 5, 6 представлені залежності поточних максимальних і мінімальних величин кутів нутації для послідовних періодів нутаційних коливань, тобто показаний характер затухання нутаційних коливань.

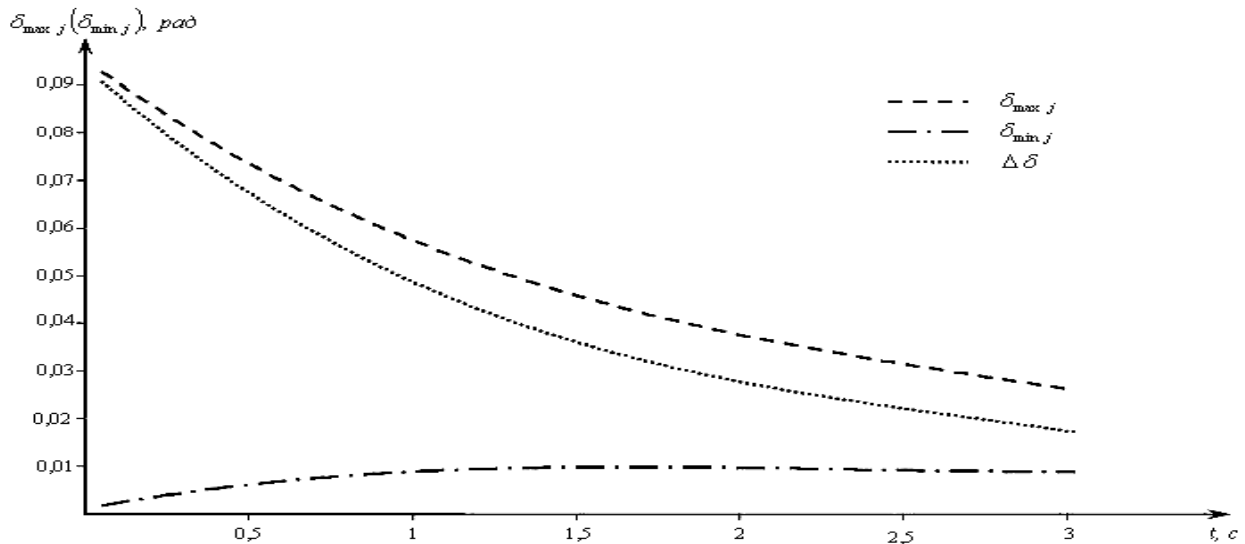


Рис. 5. Параметри нутаційних коливань для 203-мм СП 2С7 ($Q_0 = 0,366$ рад; $\delta_{10} = 2,85 \text{ c}^{-1}$; $V_0 = 968 \text{ м/с}$)

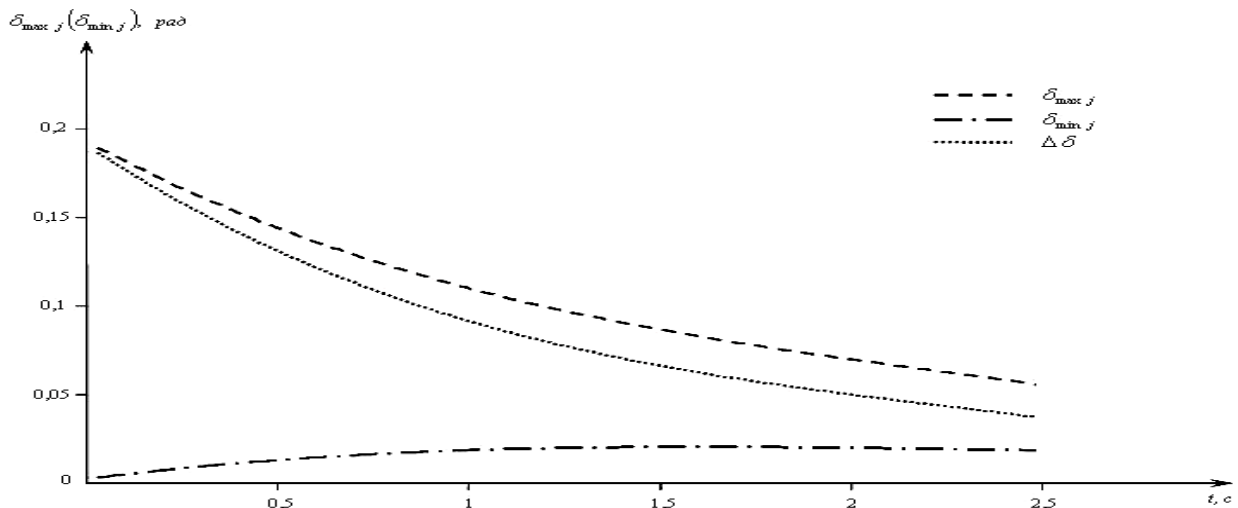


Рис. 6. Параметри нутаційних коливань для 152-мм СП 2С5 ($Q_0 = 0,7964$ рад; $\delta_{10} = 10,8 \text{ c}^{-1}$; $V_0 = 947 \text{ м/с}$)

Як видно з графіків (рис. 2 – 6) нутаційні коливання затухають за мірою віддалення снаряду від точки вильоту. У подальшому дальною затухання нутаційних коливань S_δ будемо називати мінімальне віддалення від дульного зрізу ствола, на якому під час стрільби із гармат зі значною виробкою ствола максимальне значення кутів нутації не перевищує $3 \dots 4^\circ$.

Вплив кутів нутації до $3 \dots 4^\circ$ на дальину стрі-

льби, як показали дослідження (рис. 1), незначний і не вимагає додаткового обліку, оскільки вже враховується за допомогою основної табличної залежності, що визначається за допомогою відстрілу.

Результати розрахунків щодо визначення дальни затухання нутаційних коливань для різних варіантів снарядів (мін) залежно від величини $\delta_{\max 1}$ приведені у табл. 1.

Таблиця 1

Далина затухання нутаційних коливань АРС (АРМ) S_{δ} [м]

$\delta_{\max 1}$, град	5	8	10	13	15
Варіанти снарядів (мін)					
152-мм СП 2С5 (ОФ-29)	420	990	1310	1680	2090
152-мм СГ 2С3 (ОФ-540)	210	680	1090	1410	1810
203,2-мм СП 2С7 (ОФ-44)	640	1320	1960	2490	-
240-мм СМ 2С4 (3Ф2)	160	250	330	420	510

На основі даних наведених у табл. 1 можна зробити висновок щодо необхідності вимірювань параметрів траєкторії на відстані 1800 – 2500 м для снарядів і 800 м для мін від точки вильоту снаряду (міни) з каналу ствола під час стрільби з гармат зі значною виробкою каналу ствола або розігріву ствола у гармат з середньою виробкою каналу ствола. Проведені дослідження показали, що неврахування нутаційних коливань під час стрільби з гармат, які мають виробку каналу ствола або нагрітий ствол приводить до значних помилок у відстані (рис. 1). Внаслідок цього необхідно розглянути способи урахування нутаційних коливань на політ снарядів (мін).

Можливі способи урахування нутаційних коливань на відстань польоту снарядів (мін). Внаслідок швидкого затухання нутаційних коливань, що викликані початковими збудженнями, їх врахування можливо лише на початковій ділянці траєкторії.

Вплив нутаційних коливань снаряду на відстань стрільби можна врахувати двома шляхами.

Перший полягає у визначенні умов вильоту снаряду з каналу ствола, які відповідають умовам даної стрільби, визначенні за умовами вильоту найбільшої величини максимального куту нутації $\delta_{\max 1}$ і введенні поправок у дальину на цю величину ($\Delta X_{\delta} = \varphi(\delta_{\max 1})$) під час підготовки вихідних даних для стрільби. Даний метод розроблений Кособрюковим Н.Н. [10]. На превеликий жаль роботи щодо вирішення решти питань (особливо питання щодо визначення найбільшої величини максимального кута нутації залежно від умов стрільби) необхідних для доведення запропонованого способу урахування впливу нутаційних коливань до можливого практичного застосування у необхідному обсязі продовжені не були.

Другий шлях урахування нутаційних коливань на відстань стрільби полягає у вимірюванні параметрів траєкторії руху снарядів (мін) (X, Y, θ_0, V) на відстані від дульного зрізу каналу ствола, яка дорівнює дальині затухання нутаційних коливань S_{δ} і введенні під час підготовки вихідних даних для стрільби і безпосередньо у процесі стрільби поправок на відхилен-

ня цих параметрів від табличних значень. Оскільки за допомогою балістичної станції доплерівського типу можливо вимірювання перш за все швидкості снаряду, то розглянемо можливість врахування впливу нутаційних коливань на відстань через вимірювання швидкості у деякій точці траєкторії.

Відомо, що нутаційні коливання снаряду приводять до зміни у кожній точці траєкторії всіх її параметрів: горизонтальної дальини (X), висоти (Y), куту нахилу дотичної (θ) і швидкості V . Тому врахування впливу нутаційних коливань на відстань стрільби через зміну швидкості снаряду у точці їх затухання (S_{δ}) можливо лише за умови незначущості цього впливу на зміну решти параметрів траєкторії.

З метою оцінки впливу нутаційних коливань на відстань стрільби через зміну X, Y і θ_0 для точки вимірювання швидкості снаряду на траєкторії були розраховані помилки у повну відстань за умови неврахування цих змін за залежністю

$$\delta X = \frac{\partial X}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial X}{\partial \theta} \Delta \theta + \Delta X, \quad (2)$$

де δX – помилка у повній відстані; $\Delta Y, \Delta \theta, \Delta X$ – відхилення параметрів траєкторії, що обумовлені нутаційними коливаннями у кінці ділянки їх затухання; $\frac{\partial X}{\partial Y}, \frac{\partial X}{\partial \theta}$ – поправочні коефіцієнти повної відстані для точки вимірювання швидкості снаряду.

Розрахунки були виконані для різних варіантів АРС, кутів кидання $20^\circ, 35^\circ, 50^\circ$ при найбільшому значенні кута нутації у 15° і віддаленні 2500 м точки вимірювання швидкості від дульного зрізу. Величини поправочних коефіцієнтів розраховані методом різниць за результатами чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь [8] величини відхилення параметрів траєкторії у точці вимірювання швидкості снаряду. Результати розрахунків за залежністю (2) для деяких варіантів снарядів наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Значення помилок ∂X_{δ} для снарядів 152-мм СГ 2С5 і 203,2-мм СП 2С7

Помилка відстані	АРС 152-мм СГ 2С5			АРС 203,2-мм СП 2С7			
	θ_0 [град]						
		20	35	50	20	35	50
∂X_{δ}	м	22	33	43	34	49	72
	%X	0,10	0,12	0,13	0,12	0,13	0,15

Аналіз даних табл. 2 показує, що помилка у повну відстань через відхилення X, Y і θ_0 у точці вимірювання швидкості снаряду для умов, що розглядаються, складає не більше 0,1 – 0,15%X. Таку помилку у загальному впливі нутаційних коливань на відстань стрільби порядку 2,5% можна вважати незначною.

Таким чином, у загальному впливі нутаційних коливань на відстань стрільби переважаючу вагу має вплив зміни швидкості снаряду (міни).

Під час визначення початкової швидкості для конкретної гармати, снаряду і заряду даної партії за допомогою сучасної балістичної станції типу АБС-1м не враховується вплив нутаційних коливань снаряду

на зміну швидкості його польоту за точкою її вимірювання (100 – 150 м). Стрільба ж у реальних умовах із гармат з середньою або зі значною виробкою каналу ствола буде супроводжуватися значними початковими збудженнями, які приведуть до збільшення кутів нутації на траєкторії і як наслідок – до відхилення у відстані польоту снарядів (мін) (рис. 7, 8).

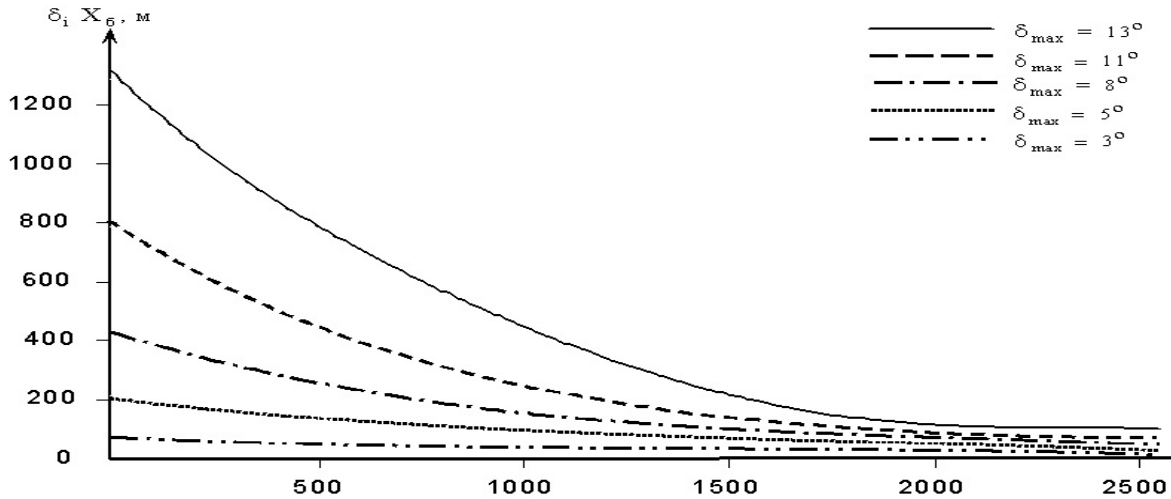


Рис. 7. Величини помилок $\delta_i X_{\delta}$ для 203-мм СП 2С7 на різних відстаннях від гармати з урахуванням нутаційних коливань

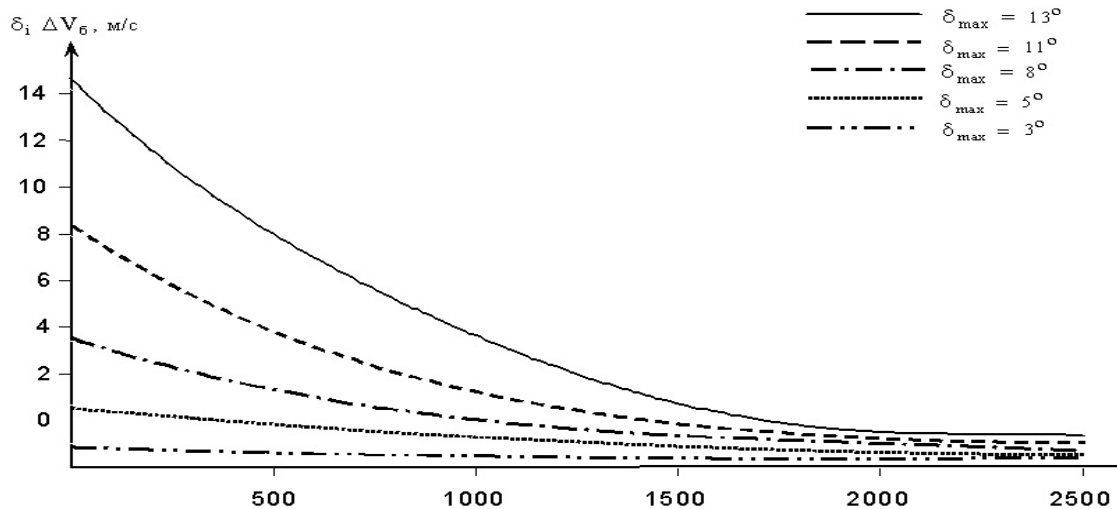


Рис. 8. Величини помилок $\delta_i (\Delta V_{\delta})$ при зміні швидкості для 203-мм СП 2С7 на різних відстаннях від гармати з урахуванням нутаційних коливань

Аналіз рис. 7, 8 показує, що під час вимірювання швидкості снарядів (мін) на відстані 100...150 м від дульного зрізу ствола під час стрільби з гармат зі значною виробкою каналу ствола (або розігріву ствола під час стрільби) можуть допускатися помилки у визначенні відстані за умови неврахування впливу нутаційних коливань, граничні значення яких складають 2,5 – 3% X , а під час стрільби з гармат з середньою виробкою каналу ствола – 0,8% X , для мін – 1,3% X .

Внаслідок цього сучасні методи визначення початкової швидкості снаряду за допомогою

АБС-1м у реальних умовах (під час стрільби із гармат, що мають виробку або розігрів ствола внаслідок інтенсивної стрільби) не відповідають вимогам точності повної підготовки. Тому необхідно розглянути способи врахування впливу нутаційних коливань на відстань стрільби під час вимірювання швидкості снаряду (міни) у точці їх затухання, S_{δ} .

Способи врахування впливу нутаційних коливань на відстань стрільби вимагають вимірювання швидкості снаряду (міни) на значній відстані від дульного зрізу ствола. Визначене значення швидкості буде залежати від метеорологічних і частково

балістичних умов стрільби: повздовжньої складової балістичного вітру (W_x), відхилення температури повітря (Δt), відхилення наземного тиску повітря (Δh) і відхилення ваги снаряду (Δq). Внаслідок цього вимірювання значення швидкості снаряду (міни) повинно бути нормалізовано.

Відхилення швидкості снаряду від табличного значення може бути знайдено у дульного зрізу ствола (*перший спосіб*) або у точці затухання нутаційних коливань (*другий спосіб*).

У першому випадку вимірювану швидкість снаряду попередньо приводять до дульного зрізу, а потім обчислюють відхилення початкової швидкості

$$\Delta V_{0\text{н\ddot{o}i}} = \frac{V_{0i\delta} - V_{0\delta}}{V_{0\delta}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $V_{0i\delta}$ – виміряна швидкість снаряду, що приведена до дульного зрізу ствола і табличних умов стрільби; $V_{0\delta}$ – таблична початкова швидкість.

Врахування впливу нутаційних коливань на відстань стрільби у даний спосіб здійснюється під час розрахунку установок для стрільби шляхом введення поправки у відстань на відхилення початкової швидкості

$$\Delta \ddot{A}_{V_0} = \frac{\partial X}{\partial V_0} \cdot \Delta V_0 = \Delta X_{V_0} \cdot \Delta V_{0\text{н\ddot{o}i}}, \quad (4)$$

де $\frac{\partial \ddot{O}}{\partial V_0}$ – табличне значення поправочного коефіцієнта, що взято з таблиць стрільби для відповідної відстані, снаряду і заряду.

Для практичної реалізації першого способу впливу нутаційних коливань на дальину польоту снаряду (міни) необхідно:

– розробити метод приведення швидкості снаряду, яка вимірюється на значній відстані від гармати, до дульного зрізу – S_δ ;

– оцінити доцільність врахування поправок у вимірювану швидкість на відхилення умов стрільби від табличних.

Оцінимо величину помилки приведення швидкості снаряду, що виміряна, до дульного зрізу при віддаленні 1800 – 2500 м, якщо прийнята лінійна залежність вимірювання швидкості (як в АБС-1м) від точки вильоту до точки вимірювання, S_δ .

У табл. 3 надані значення

$$\Delta V'_A = V'_A - V_{0\delta}, \quad (5)$$

де V'_A – значення початкової (дульної) швидкості, яке отримано за умови прийняття допущення щодо лінійної залежності зміни швидкості; $V_{0\delta}$ – табличне значення швидкості снаряду;

$$\Delta V_{\overset{\Delta i}{A}} = V_{\overset{\Delta i}{A}} - V_{0\delta}, \quad (6)$$

де $V_{\overset{\Delta i}{A}}$ – значення початкової (дульної) швидкості, яке отримано шляхом інтегрування системи диференціальних рівнянь [8].

Тоді помилку приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу можна обчислити за залежністю

$$\delta(\Delta V'_A) = V'_A - V_{\overset{\Delta i}{A}}. \quad (7)$$

Величини дульної поправки V'_A , $V_{\overset{\Delta i}{A}}$ і помилки приведення $\delta(\Delta V'_A)$ для 152-мм СП 2С5 і 203,2-мм СП 2С7 надані у табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків величин дульної поправки V'_A , $V_{\overset{\Delta i}{A}}$ і помилки приведення $\delta(\Delta V'_A)$ для 152-мм СП 2С5 і 203,2-мм СП 2С7

$S_{\text{вим}}$ [м]	$\Delta V'_A$ вимірювання сучасним методом [м/с]	$\Delta V_{\overset{\Delta i}{A}}$ на ЕОМ [м/с]	Помилки у визначенні поправки $\Delta V'_A$	
			$\delta(\Delta V'_A)$ [м/с]	$\frac{\delta(\Delta V'_A)}{V_0} \cdot 100\%$
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	94,36	2,15	0,227
1600	102,10	99,43	2,67	0,282
1800	114,25	110,67	3,58	0,378
2100	131,87	127,26	4,61	0,487
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	77,07	2,12	0,219
1600	84,420	81,75	2,67	0,276
1800	95,70	91,31	3,50	0,402
2500	144,59	139,27	5,32	0,549

З даних табл. 3 видно, що існуючий метод приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу можна застосовувати за умови віддалення точки вимірювання швидкості не далі 200 м.

Під час вимірювання швидкості снаряду на значній відстані від гармати 1800 – 2500 м використання сучасного методу приведення лінійної зміни швидкості від точки вимірювання до дульного зрізу приводить до помилок у визначенні початкової швидкості снаряду 0,38 – 0,55% V_0 .

У зв'язку з цим у даній статті пропонується метод приведення вимірюваної швидкості до дульного зрізу шляхом екстраполяції отриманих значень швидкості снаряду.

У якості поліному апроксимації прийнята залежність вигляду

$$\Delta V_{\dot{A}_i} = at_i^2 + bt_i + c, \quad (8)$$

де i – порядковий номер точки вимірювання.

Коефіцієнти a, b, c можуть бути визначені методом найменших квадратів. Тоді система лінійних рівнянь матиме вигляд

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n t_i^4 a + \sum_{i=1}^n t_i^3 b + \sum_{i=1}^n t_i^2 c = \sum_{i=1}^n t_i^2 \cdot \Delta V_{\dot{A}_i}; \\ \sum_{i=1}^n t_i^3 a + \sum_{i=1}^n t_i^2 b + \sum_{i=1}^n t_i c = \sum_{i=1}^n t_i \cdot \Delta V_{\dot{A}_i}; \\ \sum_{i=1}^n t_i^2 a + \sum_{i=1}^n t_i b + n \cdot c = \sum_{i=1}^n \Delta V_{\dot{A}_i}; \end{cases} \quad (9)$$

де n – кількість точок (іспитів) на кривій $\Delta V_{\dot{A}} = \varphi(t)$.

Рішення системи (9) щодо визначення коефіцієнтів a, b, c проведено за допомогою ЕОМ. Результати рішення представлені у табл. 4.

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів апроксимації поліному $\Delta V_{\dot{A}} = \varphi(t)$

Кути прицілювання		a		b		c	
тис.	град.	152-мм СГ 2С3	203,2-мм СП 2С7	152-мм СГ 2С3	203,2-мм СП 2С7	152-мм СГ 2С3	203,2-мм СП 2С7
417	25	-3,465	-2,476	+59,827	+49,379	+0,0847	+0,0502
500	30	-3,534	-2,578	+60,451	+49,972	+0,0918	+0,0567
583	35	-3,602	-2,680	+61,075	+50,565	+0,0989	+0,0632
667	40	-3,739	-2,782	+61,699	+51,157	+0,1060	+0,0697
683	41	-3,768	-2,802	+61,830	+51,276	+0,1063	+0,0710
700	42	-3,797	-2,823	+61,962	+51,394	+0,1066	+0,0723
717	43	-3,827	-2,843	+62,093	+51,513	+0,1069	+0,0736
733	44	-3,856	-2,864	+62,225	+51,632	+0,1072	+0,0749
750	45	-3,886	-2,884	+62,356	+51,750	+0,1075	+0,0762
767	46	-3,904	-2,904	+62,448	+51,868	+0,1093	+0,0775
783	47	-3,923	-2,925	+62,540	+51,987	+0,1111	+0,0788
800	48	-3,941	-2,945	+62,632	+52,106	+0,1129	+0,0801
817	49	-3,959	-2,966	+62,724	+52,224	+0,1148	+0,0814
833	50	-3,978	-2,986	+62,816	+52,343	+0,1166	+0,0827
850	51	-3,996	-3,007	+62,908	+52,460	+0,1185	+0,0840
867	52	-4,015	-3,027	+63,000	+52,579	+0,1203	+0,0853
883	53	-4,033	-3,048	+63,093	+52,698	+0,1221	+0,0866
900	54	-4,052	-3,068	+63,185	+52,816	+0,1240	+0,0879
917	55	-4,070	-3,088	+63,277	+52,935	+0,1258	+0,0892

Таблиці даного вигляду повинні бути розраховані для різних кутів кидання і варіантів снарядів (мін) і розміщені у інструкції з експлуатації балістичної станції або поліном апроксимації повинен бути прошитий у постійну пам'ять ЕОМ.

Проведені розрахунки показали, що для отримання необхідної точності апроксимації достатньо обрати на кривій $\Delta V_{\dot{A}} = \varphi(t)$ 10 – 15 точок.

Для врахування впливу відхилень метеорологічних і балістичних умов стрільби від табличних необхідно ввести поправки у швидкість

$$\Delta V_{0i \dot{A}} = \Delta V_{0h_0} + \Delta V_{0\tau_0} + \Delta V_{0W_x} + \Delta V_{0q}. \quad (10)$$

Поправки у швидкість ΔV_{α_i} на відхилення i -тої умови стрільби від табличного значення можуть визначатися методом різниці за допомогою системи диференційних рівнянь. Результати розрахунків поправок ΔV_{α_i} для 152-мм СГ 2С3 представлені у табл. 5.

Під час вимірювання швидкості снаряду на відстані 1800-2500 м від дульного зрізу ствола величина поправки $\Delta V_{0i \dot{A}}$ складає 13 – 30 м/с і більше і повинна враховуватися під час приведення вимірної швидкості до табличних умов стрільби.

Таблиці виду (табл.5) можуть бути складені для кожного варіанту снаряду (міни) залежно від часу польоту t_i і включені до інструкції з експлуатації балістичної станції.

Розглянемо послідовність визначення $\Delta V_{0i \delta}$ за допомогою перспективної балістичної станції, що інтегрована з ЕОМ стандартним інтерфейсом та з використанням методу приведення за допомогою поліному (8):

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

– розраховується середнє значення швидкості снаряду по групі облікованих пострілів n (не менше 4-х)

$$V_{\text{середнє}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\text{вим}_i}}{n}; \quad (11)$$

– визначають середній термін польоту снаряду до середини інтервалу, що вимірюється, по групі облікованих пострілів

$$t_{\text{середнє}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}; \quad (12)$$

– розраховують дульну поправку за методом найменших квадратів на ЕОМ за допомогою системи диференційних рівнянь

$$\Delta V_{\dot{A}} = at_{\text{середнє}}^2 + bt_{\text{середнє}} + c; \quad (13)$$

– визначають початкову швидкість снаряду, яка приведена до дульного зрізу ствола

$$V_0'' = V_{\text{середнє}} + \Delta V_{\dot{A}}; \quad (14)$$

– знаходять початкову швидкість, що приведена до табличних умов

$$V_{0i \delta}'' = V_0'' + \Delta V_{0q} + \Delta V_{0\delta_{\text{ці}}} + \Delta V_{0i \dot{A}}; \quad (15)$$

– визначають

$$\Delta V_{0\text{н}0i} = \frac{V_{0i \delta}'' - V_{0\delta}}{V_{0\Gamma}} \cdot 100\%. \quad (16)$$

Таблиця 5

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

ΔV_{δ_i}	S_{oc} [м]	t_{oc} [с]	$\Delta \tau_{\dot{A}} (^{\circ}C); T_{zm} (^{\circ}C); W_x (м/с); \Delta h_0 (мм.рт.ст.)$									
			-40	-30	-20	-15	-5	+5	+15	+20	+30	+40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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
	1800	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
	1800	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	-
	1800	2,030	-	+4,03	+2,68	+2,01	+0,67	-0,53	-1,60	-3,13	-3,20	-
$\Delta V_{0T_{ci}}$	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
	1800	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	-
	1800	2,030	-1,63	-1,22	-0,81	-0,41	-	+0,41	+0,81	+1,22	+1,63	-

Вся процедура визначення відхилення початкової швидкості від табличного значення за залежностями (10-16) може бути покладена на ЕОМ, що інтегрована з балістичною станцією і використовує для рішення задачі вихідні дані щодо реальних умов стрільби.

Під час визначення відхилення швидкості снаряду від табличного значення у точці затухання нутаційних коливань **другим способом** ΔV_{δ} визначається за залежністю

$$\Delta V_{\delta} = \frac{V_{\delta_i} - V_{\delta_T}}{V_{\delta_T}} \cdot 100\%, \quad (17)$$

де V_{δ_i} – виміряна швидкість снаряду у точці затухання нутаційних коливань, що приведена до табличних умов стрільби; V_{δ_T} – таблична швидкість снаряду для точки затухання нутаційних коливань, що може бути розрахована за допомогою системи диференціальних рівнянь [8] для кожної артилерійської системи і снаряду.

Перевагою даного способу врахування нута-

ційних коливань на відстань польоту снаряду (міни) є те, що він не вимагає приведення вимірної швидкості до дульного зрізу, необхідно провести тільки її нормалізацію за залежністю

$$\Delta V_{\delta_i} = V_{\delta_{i0}} + \Delta V_{\delta_{h_0}} + \Delta V_{\delta_{W_x}} + \Delta V_{\delta_{\tau_A}} + \Delta V_{\delta_{T_{ci}}} + \Delta V_{\delta_q} \quad (18)$$

Для практичної реалізації даного способу врахування впливу нутаційних коливань на відстань необхідно мати табличні значення швидкості (V_{δ_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) для різних варіантів снарядів (мін) і включені до інструкції використання ЕОМ балістичної станції. Таблиці для ΔV_{α_i} аналогічні табл.5 першого способу.

Тоді поправка у відстань на відхилення швидкості снаряду у точці її вимірювання визначається за залежністю

$$\Delta \ddot{A}_{V_{\delta}} = \frac{\partial X}{\partial V_{\delta_i}} \cdot \Delta V_{\delta}, \quad (19)$$

де $\frac{\partial X}{\partial V_{\delta_i}}$ - значення поправочного коефіцієнту для точки траєкторії, у якій проводиться вимірювання швидкості снаряду.

Рішення задачі щодо врахування відхилення швидкості снаряду у точці затухання нутаційних коливань від табличних значень і її нормалізація за залежностями (11...19) може бути проведено за допомогою ЕОМ балістичної станції. До ЕОМ вводяться умови стрільби ($\Delta h_0, \delta W_x, \Delta \tau, \Delta q, \Delta T_{ci}$), яка за допомогою системи диференціальних рівнянь [8] розраховує поправочні коефіцієнти ($\frac{\partial X}{\partial V_{\delta_i}}$) для даної артилерійської системи, снаряду, заряду та поправки у відстань ($\Delta \ddot{A}_{V_{\delta}}$) на відхилення швидкості снаряду від її табличного значення, які враховуються під час підготовки даних для стрільби.

Висновок

Таким чином, запропоновані у статті способи врахування початкових умов вильоту снаряду (міни) з каналу ствола є практичним вирішенням цієї задачі.

За умови застосування даних способів врахування нутаційних коливань підвищується точність підготовки даних для стрільби на основі повної підготовки.

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. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лисенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
2. Левин Л.М. Теория полета неуправляемых ракет / Л.М. Левин. – М.: Издательство физико-математической литературы, 1959. – 355 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 572 с.
4. Орлов Б.В. Внешняя и внутренняя баллистика активно-реактивных снарядов / Б.В. Орлов и др. – М.: Издательство ЦНИИ, 1978. – 134 с.
5. Червоный А.А. Вероятностные методы оценки эффективности вооружения / А.А. Червоный. – М.: Воениздат, 1979. – 93 с.
6. Монченко Н.М. Инженерный расчетный метод определения аэродинамических характеристик снарядов ствольной артиллерии / Н.М. Монченко. – М.: в/ч 42261, 1988. – 34 с.
7. Лысенко Л.Н. Баллистика ствольных систем. Справочная библиотека разработчика-исследователя / Л.Н. Лысенко, В.В. Грабин и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.
8. Макеев В.И. Математична модель просторового руху літального апарату на твердому паливі в атмосфері / В.И. Макеев и др. – Вісник СумДУ №2, 2008.
9. Макеев В.И. Балістична підготовка стрільби, методи і засоби її удосконалення. Міністерство освіти і науки України / В.И. Макеев и др. Видавництво СумДУ, 2008.
10. Кособрюхов Н.Н. Исследование движения НРС (АРМ) и методы отстрела и составления таблиц стрельбы: дисс.канд.тех.наук / Н.Н. Кособрюхов. – Л. 1976. – 188 с.
11. Правила стрільби і управління вогнем. Група, дивізіон, батарея, взвод, гармата. – К.: Варта, 1995. – 307 с.

Надійшла до редколегії 17.02.2009

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЧЕТА УСЛОВИЙ ВЫЛЕТА СНАРЯДА (МИНЫ) ИЗ СТВОЛА

В.И. Макеев, А.М. Кривошеев

Проведено исследование степени влияния разнообразных возмущающих факторов на полет снарядов (мин), определены основные баллистические факторы, влияние которых надлежит учитывать во время стрельбы снарядов (мин), сделана оценка точности современных методов и средств баллистической подготовки. Исследуются условия влияния колебательного движения снарядов (мин) на постепенное движение центра масс снаряда, на основе чего разрабатываются способы учета нутационных колебаний, которые возникают во время вылета снаряда из канала ствола.

Ключевые слова: артиллерия, баллистическая и метеорологическая подготовки стрельбы, расстояние, мина, поправки, нутаційні коливання, снаряд, система дифференціальних рівнянь.

METHOD PREPARATION SHELLS DEPARTURE REQUIREMENTS FROM TRUNKS

V.I. Makeev, A.M. Krivosheev

Research of degree of influencing of various revolting factors is conducted on flight of shells (mines), basic ballistic factors influencing of which it is required to take into account during firing of shells (mines) are certain, the estimation of exactness of modern methods and facilities of ballistic preparation is done. Research condition of influence oscillatory motion of shells to translation center of mass and create method of calculation nutation oscillations which come into existence departure time of shells from trunks.

Keywords: artillery, ballistic and meteorological preparations of firing, distance, mine, amendments, nutation vibrations, shell, system of differential equalizations.