

## БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОВТ

УДК 629.072.19

В.І. Макеєв<sup>1</sup>, В.І. Грабчак<sup>2</sup>, В.В. Прокопенко<sup>2</sup>, І.В. Кучерявенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сумський державний університет, Суми

<sup>2</sup>Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НУТАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ СНАРЯДІВ (МІН) НА ДАЛЬНІСТЬ ЇХ ПОЛЬОТУ

*У статті досліджується вплив нутаційних коливань снарядів (мін) на траєкторію руху їх центру мас. Наведені результати розрахунків значень помилок у дальності, які викликані нутаційними коливаннями при різноманітних рівнях впливу факторів для 203-мм СГ 2С7, 152-мм СГ 2С5 та 240-мм СМ 2С4. Представлені результати розрахунків визначення відстані затухання нутаційних коливань та наведений характер зміни складових і сумарного кута нутації для різних типів снарядів (мін) залежно від часу польоту.*

**Ключові слова:** балістична підготовка стрільби, нутаційні коливання снарядів (мін), кут і кутова швидкість нутації.

#### Вступ

**Постановка задачі та аналіз літератури.** У зв'язку із появою артилерійських систем з великою дальністю стрільби, різноманітних конструктивних компоновок і способів стабілізації польоту з'явилася необхідність в узагальненні питань впливу різних збурювальних факторів на політ снаряда (міни) на сучасному математичному рівні з широким використанням для цих цілей електронно-обчислювальної техніки.

Точність визначення установок для стрільби артилерійськими боеприпасами різного класу на основі повної підготовки за рядом чинників і особливо через недосконалість сучасних методів і засобів балістичної підготовки стрільби, не сповна відповідає технічним можливостям матеріальної частини і боеприпасів, що призводить до зниження ефективності вогню артилерії [1].

Як відомо [1, 2, 3], основу балістичної підготовки стрільби звичайних снарядів складає визначення сумарного відхилення початкової швидкості снарядів, а також визначення температури металю заряду.

Сучасні методи балістичної підготовки стрільби снарядів (мін) не враховують умов вильоту снаряда (міни) із каналу ствола, які визначають характер нутаційних коливань снаряда (міни) на траєкторії. Своєю чергою нутаційні коливання суттєво впливають на траєкторію руху центру мас снаряда (міни) через зміну сили лобового опору, підйомної (нормальної) сили, а також сили Магнуса.

У роботах [1, 4, 5, 6] розглядаються питання впливу коливального руху снарядів (мін) на рух центра мас. Однак внаслідок недостатньої вірогідності значень аеродинамічних характеристик снарядів у системі диференційних рівнянь отримання об'єктивних параметрів нутаційних коливань снарядів було неможливим. На сьогодні розроблена методика розрахунку аеродинамічних коефіцієнтів та інерційно-вагових характеристик снарядів (мін), яка дозволяє визначати аеродинамічні коефіцієнти з більш високою точністю порівняно з методиками, які використовували раніше [5, 7].

**Метою статті** є розрахунок значень помилок у дальності польоту снарядів (мін), які викликані нутаційними коливаннями снарядів (мін) при різноманітних збуреннях та визначення відстані затухання нутаційних коливань і характеру зміни складових і сумарного кута нутації для різних типів снарядів (мін).

#### Основна частина

**Вплив коливального руху снарядів (мін) на поступовий рух його центра мас.** Характер і параметри нутаційних коливань та їх вплив на політ снарядів (мін) за умови однаковості інших умов визначається рівнем початкових збурень (початкових кутів нутаційних коливань  $\delta_0$  і кутових швидкостей нутаційних коливань  $\dot{\delta}_0$ ).

Визначення початкових умов (насамперед  $\delta_0$  і  $\dot{\delta}_0$ ), що необхідні для інтегрування системи

диференційних рівнянь польоту снаряда у просторі, є важливим завданням, від якого залежить отримання об'єктивних кількісних параметрів впливу нутаційних коливань на політ снарядів (мін).

У загальному випадку поздовжня вісь снаряда не співпадає з віссю симетрії каналу ствола гармати. Через похибки виготовлення рух снаряда в каналі ствола відбувається при незбіжності відповідних осей. Ведучий поясок, який розташований у задній (кормовій) частині корпусу снаряда, призначений для утворення однієї з контактних пар і забезпечення нульового зазору заду.

Іншою частиною опори снаряда повинно служити переднє центруюче потовщення. Будь-який зазор  $\Delta_1$  (рис.1) у переднього центруючого потовщення зазвичай негайно відображається на величині кута нутації.

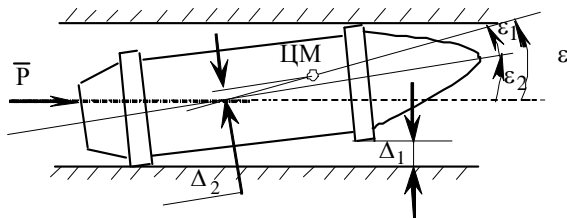


Рис.1. Рух снаряда у каналі ствола гармати

Виникнення зазору, як правило, обумовлюється несиметричним врізанням центруючого потовщення у нарізи. В свою чергу це викликає зміщення центра мас навіть ідеально збалансованого снаряда з осі каналу ствола  $\epsilon_2$ . За наявності рівнодіючої сили тиску порохових газів  $\bar{P}$  на днище снаряда, направленої вздовж каналу ствола, це призведе до виникнення обертального моменту, який має тенденцію збільшувати це зміщення. Величина зазору і дефект, що ним викликаний, будуть тим більше, чим більше зношеність і нагрів ствола.

Другою важливою причиною виникнення початкових кутових швидкостей і кута нутації є ексцентриситет (неврівноваженість) ваги снаряда. При цьому розрізняють два види неуврівноваженості. Перший, який називають статичною неуврівноваженістю, полягає в тому, що в силу технологічних похибок виготовлення корпусу й особливостей його наповнення центр мас снаряда зміщується на деяку відстань  $\Delta_2$  відносно поздовжньої осі снаряда. Другий – динамічна неуврівноваженість, пов'язаний із незбіжністю геометричної осі симетрії снаряда і його головної центральної полярної осі інерції. Величина динамічного ексцентриситету визначається кутом  $\epsilon_1$ .

Під час стрільби з гармат, що мають новий ствол, максимальне значення кутів нутації на початковій ділянці траєкторії складає  $\delta_{\max 1} = 3 \div 4^\circ$ ,

для стволів з середньою виробкою –  $\delta_{\max 1} = 5 \div 10^\circ$ , для стволів зі значною виробкою або під час розігріву ствола із середньою виробкою –  $\delta_{\max 1} = 11 \div 15^\circ$  [1, 5, 8].

Відомо [1, 8], що для снарядів, які обертаються, основний вплив здійснює кутова швидкість нутації  $\dot{\delta}_0$ , а для оперених снарядів (мін) – кут нутації  $\delta_0$ . Для переходу від  $\delta_{\max 1}$  до  $\dot{\delta}_0$  проінтегруємо систему диференційних рівнянь [9] за умови  $\delta_{\max 1} = 15^\circ$  для різних типів снарядів (мін). У результаті отримаємо: для 152-мм СГ 2С5, снаряд ОФ-29 (ОФ-30) кутова швидкість нутації дорівнює  $\dot{\delta}_0 = 14,2$  [рад/с], для 152-мм СГ 2С3 снаряд ОФ-540 (ОФ-22) –  $\dot{\delta}_0 = 9,6$  [рад/с], для 203-мм СГ 2С7, снаряд ОФ-44 –  $\dot{\delta}_0 = 8,1$  [рад/с], для 240-мм СМ 2С4, міна 3Ф2 –  $\dot{\delta}_0 = 6,2$  [рад/с].

Інтегруванням системи диференційних рівнянь [9] двічі, за умови  $\delta_0 \neq 0, \dot{\delta}_0 \neq 0$  і  $\delta_0 = 0, \dot{\delta}_0 = 0$ , порівнюючи результати інтегрування, можна оцінити вплив нутаційних коливань на повну дальність ( $X_\delta$ ) польоту снарядів (мін), а також на швидкість і координати у поточних точках траєкторії:

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

де  $\alpha_i, \alpha_{it}$  – значення елемента траєкторії у поточних точках або у точках падіння за умови  $\delta_0 \neq 0, \dot{\delta}_0 \neq 0$  і  $\delta_0 = 0, \dot{\delta}_0 = 0$  (табличні значення) відповідно;  $\Delta \alpha_\delta$  – відхилення елемента траєкторії від табличних значень через нутаційні коливання снаряда.

Результати розрахунків відхилень у дальності  $\Delta X_\delta$  для деяких типів снарядів за залежністю

$$\Delta X_\delta = \frac{X_c - X_{cm}}{X_{cm}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $X_c, X_{cm}$  – значення дальності польоту в точці падіння снаряда, при  $\delta_0 \neq 0, \dot{\delta}_0 \neq 0$  і  $\delta_0 = 0, \dot{\delta}_0 = 0$  відповідно; за умови фіксованих значень  $\delta_{\max 1}$  наведені у табл. 1, 2, 3 та рис.2.

Таблиця 1

Значення помилок у дальності  $\Delta X_{\delta}$  через нутаційні коливання при різноманітних рівнях впливу факторів для 203-мм СГ 2С7  $\Theta_0 = 0,940$  [рад]

$\dot{\delta}_0, [1/c]$	0,1	0,15	0,25	0,56	1,14	1,80	3,20	5,31	6,02	7,07	7,21
$\delta_{\max 1}, [рад]$	0,003	0,005	0,008	0,018	0,037	0,058	0,104	0,172	0,195	0,229	0,233
$\delta_{\max 1}, [град]$	0,17	0,29	0,46	1,03	2,12	3,32	5,94	9,83	11,15	13,09	13,32
$\Delta X_{\delta}, [м]$	-3,5	-3,55	-4,29	-8,18	-34,36	-79,98	-259,85	-690,01	-893,2	-1213,8	-1295,4

Таблиця 2

Значення помилок у дальності через нутаційні коливання при різноманітних рівнях впливу факторів для 152-мм СГ 2С5  $\Theta_0 = 0,796$  [рад]

$\dot{\delta}_0, [1/c]$	0,9	1,85	3,86	5,75	6,89	7,6	9,56	10,4	12,62	13,67	14,62
$\delta_{\max 1}, [рад]$	0,017	0,035	0,069	0,105	0,122	0,14	0,175	0,192	0,227	0,245	0,262
$\delta_{\max 1}, [град]$	1	2	4	6	7	8	10	11	13	14	15
$\Delta X_{\delta}, [м]$	-8,5	-17	-49	-119,4	-166,3	-213,4	-340	-403,4	-566,8	-657,4	-760,1

Таблиця 3

Величини помилок у дальності  $\Delta X_{\delta}$  в [%X] в залежності від першого максимального кута нутації

Відхилення у дальності	Тип АРС	$\delta_{\max 1}$						
		2	4	6	8	10	12	14
$\Delta X_{\delta}, [%X]$	152-мм СГ 2С5 $\Theta_0 = 0,796$ [рад]	0,05	0,15	0,36	0,65	1,04	1,47	2,2
	203-мм СГ 2С7 $\Theta_0 = 0,891$ [рад]	0,07	0,28	0,58	0,95	1,46	2,31	-
	240-мм СМ 2С4 $\Theta_0 = 1,047$ [рад]	0,03	0,18	0,43	0,89	1,3	-	-
$\Delta X_{\delta}, [м]$		6	34	82	169	247	-	-

Примітка.  $\Theta_0$  – кут кидання (кут між горизонтальною площиною та позадвожньою віссю каналу ствола гармати).

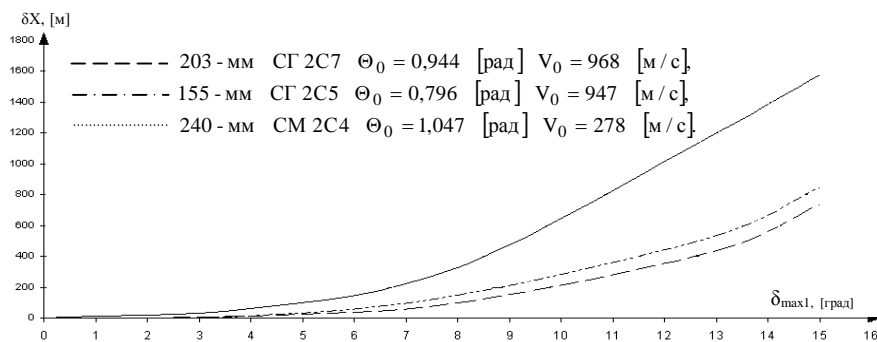


Рис. 2. Помилки у дальності в залежності від максимального кута нутації

За даними рис.2 і табл. 1, 2, 3 можна зробити наступні висновки:

– вплив нутаційних коливань при кутах  $\delta_{\max 1} = 3 \div 4^0$ , тобто для нових стволів, на зміну дальності незначний;

– найшвидше збільшення  $\Delta X_{\delta}$  відбувається при  $\delta_{\max 1} = 7 \div 8^0$ , тобто для стволів із середньою виробкою або під час розігріву ствола гармати у процесі стрільби.

**Характер і параметри нутаційних коливань снарядів (мін).** У результаті інтегрування системи диференціальних рівнянь [9] для різних типів снарядів (мін) для різних значень  $\Theta_0 = 20^0, 35^0, 45^0, 50^0, 60^0, 75^0, 80^0$ ,  $\dot{\delta}_{10} = 0,05; 1,0; 1,5; 2,65; 4,4; 6,5; 8,0; 10,8; 14,7$  [рад/с],  $\dot{\delta}_{20} = 0$ ,  $\delta_{10} = 0,001; 0,0015; 0,003; 0,007; 0,01; 0,015; 0,025$  [рад],  $\delta_{20} = 0$ , де  $\dot{\delta}_{10}$ ,  $\dot{\delta}_{20}$ ,  $\delta_{10}$ ,  $\delta_{20}$  – початкова (на дульному зрізі ствола

гармати) вертикальна і горизонтальна складова кутової швидкості нутації та кута нутації снаряда (міни), отримані рішення, що визначають характер, амплітуду, період та інші параметри нутаційних коливань снарядів (мін). На ЕОМ було проведено 100 варіантів розрахунків.

Характер зміни складових  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  і сумарного кута  $\delta$  для снарядів ОФ-29 152-мм СГ 2С5, ОФ-44 203-мм СГ 2С7 та міни 3Ф2 240-мм СМ 2С4 залежно від часу польоту представлено на рис. 3, 4, 5.

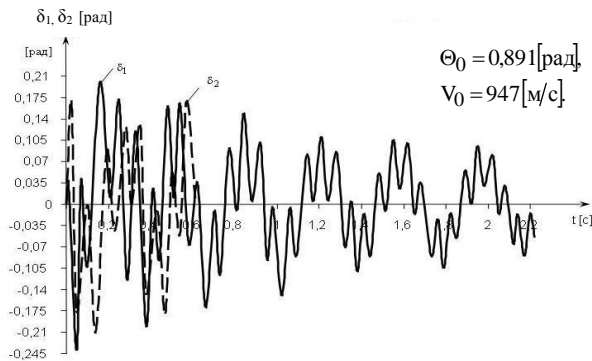


Рис. 3. Характер залежності зміни складових  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  для снарядів ОФ-29 152-мм СГ 2С5 залежно від часу

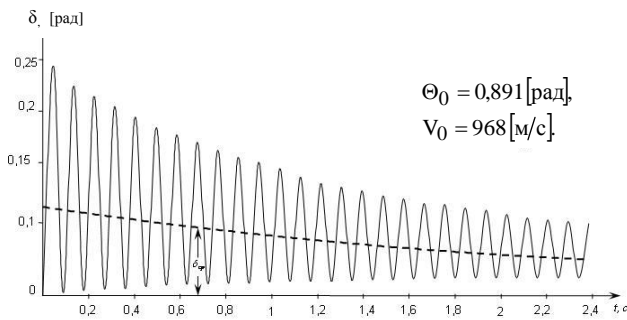


Рис. 4. Характер залежності зміни кутів  $\delta$ ,  $\delta_{сер}$  для снарядів ОФ-44 203-мм СГ 2С7 залежно від часу

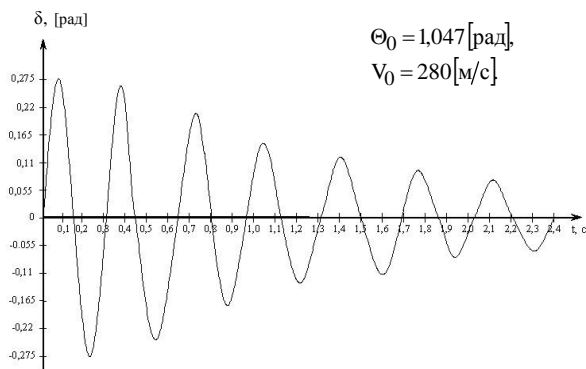


Рис. 5. Характер зміни кута  $\delta$  для міни 3Ф2 240-мм СМ 2С4 залежно від часу

З графіків бачимо, що нутаційні коливання снарядів (мін) на початковій ділянці траєкторії внаслідок впливу початкових збурень являють собою гармонічні коливання, що за амплітудою швидко затухають.

У порядку дослідження впливу різних факторів на характер і параметри нутаційних коливань були отримані залежності максимальних величин кутів нутації на ділянці затухання  $S_\delta$  від виду і величини початкового збурення для всіх снарядів (мін), що досліджувалися. Відстанню затухання нутаційних коливань  $S_\delta$  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  $3-4^0$ . Найшвидше відбувається затухання нутаційних коливань у мін.

Нутаційні коливання осі снарядів (мін) відбуваються відносно деякого середнього значення  $\delta_{сер}$  (рис. 3). При цьому з часом зменшується і середнє значення кута нутації  $\delta_{сер}$ .

На рис. 6, 7 представлений характер зміни максимальних  $\delta_{max j}$  і мінімальних  $\delta_{min j}$  значень кутів нутації та амплітуди кута нутації  $\Delta\delta_j = \delta_{max j} - \delta_{min j}$  для снарядів ОФ-44 203-мм СГ 2С7 та ОФ-29 152-мм СГ 2С5, тобто показаний характер затухання нутаційних коливань.

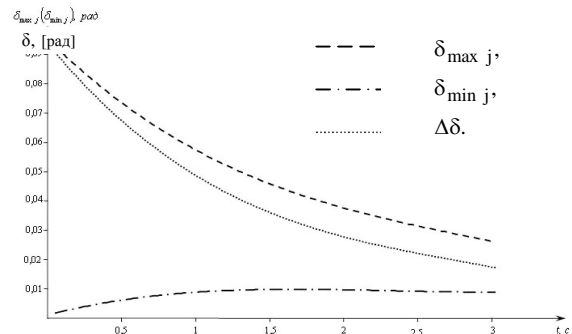


Рис. 6. Параметри нутаційних коливань для снарядів ОФ-44 203-мм СГ 2С7 ( $\Theta_0 = 0,366$  [рад];  $\delta_{10} = 2,85$  [рад/с];  $V_0 = 968$  [м/с])

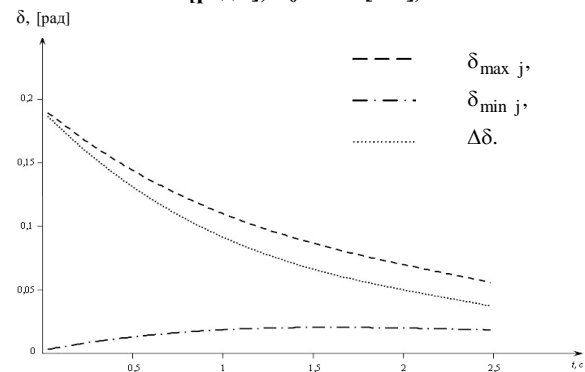


Рис. 7. Параметри нутаційних коливань для снарядів ОФ-29 152-мм СГ 2С5 ( $\Theta_0 = 0,796$  [рад];  $\delta_{10} = 10,8$  [рад/с];  $V_0 = 947$  [м/с])

Із наведених даних бачимо, що  $\delta_{\max j}$  і  $\Delta\delta_j$  мають максимальну величину на початку траєкторії, а потім зменшуються за мірою віддалення снаряда від точки вильоту. Починаючи з деякої точки траєкторії, рух осі снаряда має характер псевдорегулярної прецесії з кутом нутації порядку 3-4°.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

– для тієї самої гармати при однаковому початковому збуренні  $\delta_0$  зі зменшенням початкової швидкості  $V_0$ , максимальне значення кутів нутації збільшується;

– кут  $\Theta_0$  не впливає на характер нутаційних коливань;

– як видно із графіків (рис. 2-7), нутаційні коливання затухають за мірою віддалення снаряда від точки вильоту.

Вплив кутів нутації до 3-4° на дальність стрільби, як показали дослідження (табл. 1, 2, 3; рис. 1), незначний і не вимагає додаткового обліку, оскільки вже враховується за допомогою основної табличної залежності, що визначається за допомогою відстрілу.

Результати розрахунків визначення відстані затухання нутаційних коливань для різних типів снарядів (мін) залежно від величини  $\delta_{\max 1}$  наведені на рис. 8, 9 та у табл. 4.

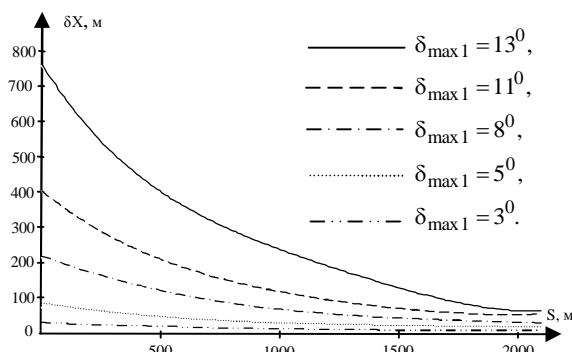


Рис. 8. Величини помилок  $\delta X$  для снарядів ОФ-29 152-мм СГ 2С5 на різних відстаннях від гармати з урахуванням нутаційних коливань

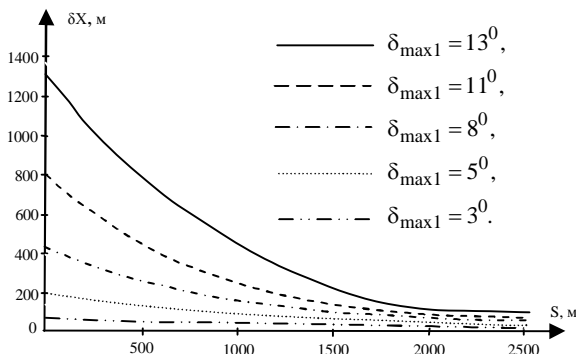


Рис. 9. Величини помилок  $\delta X$  для снарядів ОФ-44 203-мм СГ 2С7 на різних відстаннях від гармати з урахуванням нутаційних коливань

Таблиця 4

Відстань затухання нутаційних коливань снарядів (мін)  $S_{\delta}$ , [м]

Типи снарядів (мін)/ $\delta_{\max 1}$ , [град]	5	8	10	13	15
ОФ-29, 152-мм СГ 2С5	420	990	1310	1680	2090
ОФ-540, 152-мм СГ 2С3	210	680	1090	1410	1810
ОФ-44, 203-мм СГ 2С7	640	1320	1960	2490	–
3Ф2, 240-мм СМ 2С4	160	250	330	420	810

## Висновки

У статті проведено розрахунок значень помилок у дальності польоту снарядів (мін), які викликані нутаційними коливаннями снарядів (мін) при різноманітних збуреннях та визначення відстані затухання нутаційних коливань і характеру зміни складових і сумарного кута нутації для різних типів снарядів (мін). Проведені розрахунки показують, що неврахування впливу нутаційних коливань під час стрільби зі стволів зі значною виробкою або під час розігріву ствола гармати у період інтенсивної стрільби може призводити до зменшення дальності до 2-3%, а під час стрільби зі стволів із середньою виробкою величина зменшення дальності буде мати значення порядку 0,6-1%. Такі відхилення у відстані під час визначення установок для стрільби на основі повної підготовки необхідно враховувати, оскільки це може призвести до невиконання вогневого завдання. На основі даних, наведених у табл. 4, можна зробити висновок щодо необхідності вимірювань параметрів траєкторії на відстані 1800-2500 м для снарядів і 800 м для мін від точки вильоту снаряда (міни) з каналу ствола під час стрільби з гармат зі значною виробкою каналу ствола або розігріву ствола у гармат із середньою виробкою каналу ствола.

## Список літератури

1. Дмитриевский А. А. Внешняя баллистика / А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лисенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
2. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии. – М.: Воениздат, 1987. – 376 с.
3. Посібник з вивчення правил стрільби і управління вогнем наземної артилерії / група, дивізіон, батарея, взвод, гармата / Навчальний посібник. – Львів: ЛІСВ, 2009. – 365 с.
4. Поляница П. В. Балістична підготовка стрільби / П. В. Поляница, В. В. Авраменко, В. В. Серпокрилов, Р. Ю. Михайлик. – Суми: ВІА СумДУ, 2001. – 124 с.
5. Макеев В. І. Балістична підготовка стрільби, методи і засоби її удосконалення / В. І. Макеев, М. М. Ляпа,

В.М. Петренко, В.С. Житник. – Суми: СумДУ, 2008. – 160 с.

6. Лисенко В.М. Теорія польоту / В.М. Лисенко, В.І. Грабчак, Д.А. Новак. – Суми: СумДУ, 2006. – 203 с.

7. Лысенко Л.Н. Баллистика ствольных систем. Справочная библиотека разработчика-исследователя / Л.Н. Лысенко, В.В. Грабин. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.

8. Равдин И.Ф. Внешняя баллистика неуправляемых ракет и снарядов / И.Ф. Равдин. – М.: МО

СССР, 1976. – 184 с.

9. Makeev V.I. Математична модель просторового руху літального апарату на твердому паливі в атмосфері / В.І. Makeєв, М.М. Ляпа, Л.Д. Назаренко // Вісник СумДУ. – Суми: СумДУ. – 2008. – Вип. 2. – С. 5-12.

Надійшла до редакції 10.02 2010 р.

**Рецензент:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник А.М. Зубков, Академія сухопутних військ, Львів.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НУТАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ СНАРЯДОВ (МИН) НА ДАЛЬНОСТЬ ИХ ПОЛЕТА

Makeev V.I., Hrabchak V.I., Prokopenko V.V., Kucheryavenko I.V.

*В статье исследуется влияние нутационных колебаний снарядов (мин) на траекторию движения их центра масс. Приведены результаты расчетов значений ошибок в дальности, вызванные нутационными колебаниями при различных уровнях воздействия возмущающих факторов для 203-мм СП 2С7, 152-мм СП 2С5 и 240-мм СМ 2С4. Представлены результаты расчетов определения расстояния затухания нутационных колебаний и приведен характер изменения составляющих и суммарного угла нутации для различных типов снарядов (мин) в зависимости от времени полета.*

**Ключевые слова:** баллистическая подготовка стрельбы, нутационные колебания снарядов (мин), угол и угловая скорость нутации.

#### RESEARCH OF IMPACT OF NUTATIONAL FLUCTUATIONS OF SHELLS (MINES) ON THEIR FLIGHT RANGE

Makeev V.I., Hrabchak V.I., Prokopenko V.V., Kucheryavenko I.V.

*The article contains the research of impact of nutational fluctuations of shells (mines) on their weight centre move trajectory. There are results of calculations of range errors caused by nutational fluctuations under various levels of impact of disturbing factors for 203-mm SPG 2S7, 152-mm SPG 2S5 and 240-mm SPM 2S4. There are results of calculations of distance of nutational fluctuations fading and the character of change of forming components and total angle of nutation for different types of shells (mines) depending on flight period is given.*

**Keywords:** ballistic preparation of shooting, nutational fluctuations of shells (mines), angle and angular velocity of nutation.

УДК 621.81: 621.753.2

О. М. Сотніков<sup>1</sup>, А.Б. Гаврилов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup>Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, Харків

### ПІДВИЩЕННЯ БОЙОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ

*У даній статті запропонований механізм оцінки впливу конфігурації бронетанкової техніки (БТТ) на її радіометричну помітність з огляду на необхідність підвищення ступеня захищеності перспективних зразків БТТ. Запропонований підхід може бути використаний при обґрунтуванні тактико-технічних вимог до перспективних засобів пасивного захисту, а також при оцінці показників помітності БТТ при використанні існуючих засобів пасивного захисту.*

**Ключові слова:** радіояскравісна температура, засіб пасивного захисту, радіометрична система самонаведення

#### Вступ

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**  
**Постановка проблеми.** Аналіз світових тенденцій

розвитку звичайних озброєнь показує, що розвиток як засобів ураження, так і засобів захисту від них вийшов на новий якісний рівень [1]. За цих обставин стає зрозумілим, що реальні перспективи не тільки