

# ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 623.438.3

Сакун О.В., канд. біол. наук; Хілько Ю.В.; Коритченко К.В., д-р техн. наук;  
Белоусов І.О.; Ісаков О.В.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МЕТАННЯ ГАЗО-ДЕТОНАЦІЙНИМ ЗАРЯДОМ

### Вступ.

У сучасних війнах, які відбуваються у зоні антитерористичної операції, Сирії, на території Ізраїльсько-Палестинського конфлікту, тощо, широко ведуться «безконтактні» війни з залученням артилерії та авіації. Разом з тим, закріплення результатів артилерійських обстрілів та повітряних операцій відбувається лише у разі проведення наземних операцій. При цьому, бойові дії з прямим зіткненням між противниками розростаються практично у населених пунктах, де умови ведення бою не сприятливі для бронетанкової техніки. Але іншої альтернативи потужної підтримки діям піхотних підрозділів у ближньому бою, ніж за допомогою броньованої техніки, відсутні. Підтримка діям піхоти також забезпечується за рахунок застосування мобільних гранатометних та мінометних засобів. При цьому, виникають складнощі у координації дій між різними підрозділами.

Відомо [1, 2], що міномети є важливою складовою артилерії сухопутних військ. Особливість застосування мінометів викликана можливістю ураження цілей на ближній дистанції навісним вогнем з закритих вогневих позицій. Розвиток контр батареїних систем зумовив тенденцію розвитку мінометів на самохідних шасі. За рахунок встановлення мінометів на броньовані шасі поліпшується мобільність зброї, та підвищується захищеність розрахунку міномета від куль і осколків. При цьому, створюються умови для збільшення боєкомплекту, впровадженню напівавтоматичних систем наведення.

Розміщення на танках та інших броньованих машинах мінометів з газовими детонаційними системи метання розширить можливості танкових та механізованих підрозділів у самостійному виконанні бойових завдань в міських умовах.

### Мета роботи.

Експериментальна перевірка можливості практичної реалізації системи метання газодетонаційним зарядом.

### Основна частина.

Експериментальна установка та методика вимірювань описані в роботах [3, 4].

Осцилограма імпульсів на п'єзодатчиках тиску, що виміряна під час метання тіла масою 712 г представлена (рис. 1). Синхронізація розгортки осцилографа відбувалась за сигналом, що вимірювався. Вважалось, що різке зростання сигналу викликано досягненням тіла датчику.

За цим припущенням маємо, що час здвигу сигналів з п'єзодатчиків склав 3,4 мс, що на базисній відстані 0,38 м відповідає початковій швидкості тіла 112 м/с. Також, вимірювання початкової швидкості тіла на початковій ділянці траєкторії здійснене обробкою результатів відеозйомки (рис. 2). Відстань між положеннями тіла на сусідніх кадрах становить  $4 \pm 0,2$  м, що із урахуванням частоти відео зйомки 25 кадр/с відповідає швидкості  $100 \pm 5$  м/с, що задовільно відповідає результатам вимірювання за допомогою п'єзодатчиків. Враховуючи більш високу точність вимірювання за допомогою п'єзодатчиків, перевагу надано цьому методу.

© О.В.Сакун, 2015

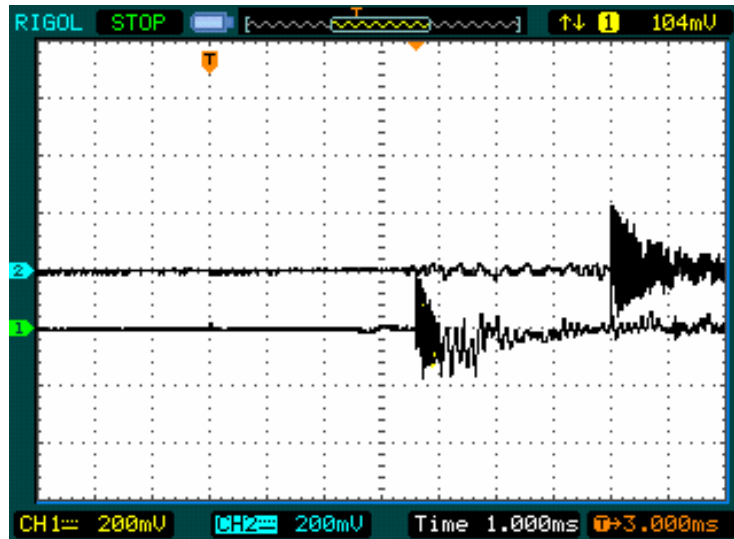


Рис. 1. Осцилограма імпульсів на п'єзодатчиках тиску під час вильоту тіла масою 712 г з газодетонаційної установки: 1 – на п'єзодатчику № 1; 2 – на п'єзодатчику № 2



Рис. 2. Кадри польоту тіла, що метається. (тіло обведено колом)

В результаті експериментальних досліджень виявлено зниження помітності пострілу у оптичному діапазоні. Даний результат отримано за результатами обробки кадрів відео зйомки (рис 3, 4). Практично за однаковою дистанцією відльоту снаряду від ствола газодетонаційної установки, область світимості продуктів згорання у режимі дефлаграційного згорання не менше, ніж у два рази перевищувала відповідну область у режимі детонаційного згорання. Для подальшого зниження помітності пострілу необхідно збільшувати довжину секції прискорення, що забезпечить зниження температури продуктів детонації за рахунок процесу їх розширення. В першому наближенні температуру газу на виході з каналу ствола можливо визначити за законом адіабати по виразу

$$T_1 = T_0 \left[ \frac{L_0}{L_1} \right]^{y-1}, \quad (1)$$

де  $L_1$  – повна довжина ствола;  
 $L_0$  – початкова довжина ствола, що зайнята продуктами детонації;  
 $T_0$  – початкова температура продуктів детонації.

З виразу (1) маємо, що у разі розширення продуктів детонації у 4 рази зниження температури продуктів детонації відбудеться у 1,74 рази (при  $\gamma = 1,4$ ). Тепловтрати, пов'язані з передачею теплової енергії каналу ствола також забезпечують зниження температури продуктів детонації, що розширюються.



Рис. 3. Світимість продуктів згорання при стрільбі без детонації

За вище визначеними умовами у режимі детонації була проведена серія досліджень для тіл відповідної маси та отримані наступні результати (табл. 1). Обробка експериментальних результатів проводилась методом найменших квадратів. При ймовірності, що довіряється, рівній 0,9 маємо коефіцієнт Ст'юдента 2,13.



Рис. 4. Світимість продуктів згорання при стрільбі з детонацією

Таблиця 1

Результати вимірювання початкової швидкості тіла, що метається, за початковим тиском горючого газового заряду 0,1 МПа та детонаційним режимом згорання

№ з/п	Виміряна швидкість, м/с			
	виміряне	оброблено	виміряне	оброблено
	при масі тіла, кг			
	0,712		0,338	
1	112	114 ± 2,8 <sub>0,9</sub>	215	210,2 ± 7,8 <sub>0,9</sub>
2	115		201	
3	110		210	
4	117		220	
5	116		205	

За результатами вимірювань, у дослідній установці залежність початкової швидкості снаряду від маси снаряду має вигляд (рис. 5). Порівняння здійснювалось у детонаційному режимі згорання на абсолютному початковому тиску горючих газів, що дорівнював  $p_0 = 0,1$  МПа.

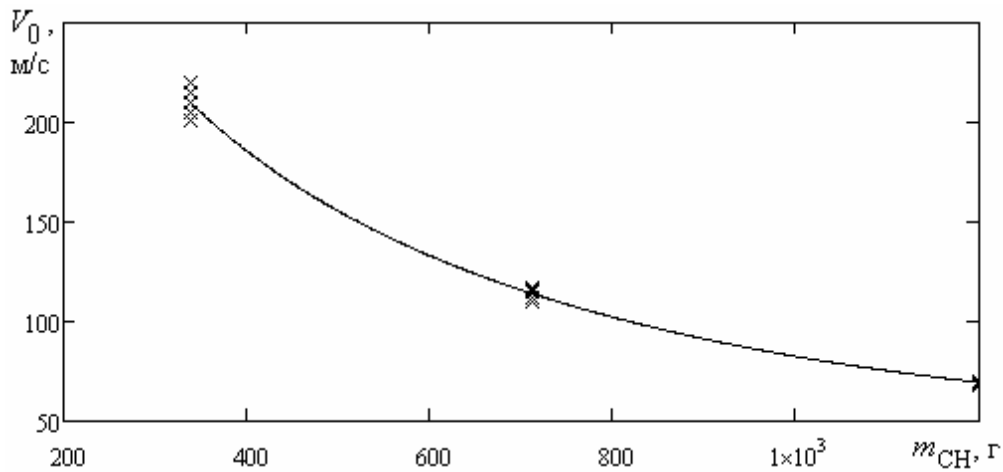


Рис. 4. Залежність початкової швидкості снаряду від його маси у газовій детонаційній системі в умовах проведених досліджень

Обробка отриманих результатів показує, що у разі збільшення маси снаряду, за інших незмінних параметрів пострілу, відбувається зменшення кінетичної енергії снаряду та, відповідно, коефіцієнту корисної дії пострілу (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність кінетичної енергії снаряду та коефіцієнту корисної дії пострілу від маси снаряду за детонаційним режимом згорання

		Кінетична енергія снаряду, кДж	Коефіцієнту корисної дії пострілу, %
Маса тіла, що металось, г	338	7,45	30
	712	4,6	18
	1200	2,9	12

Подібна залежність є характерною і для режиму метання з дефлаграційним згоранням заряду.

Отримана залежність швидкості з коефіцієнтом кореляції 0,997 може бути представлена функцією апроксимації у проведеному діапазоні та умовах досліджень у вигляді

$$V_0(m_{\text{CH}}) = -248 \ln(m_{\text{CH}}) + 10,7\sqrt{m_{\text{CH}}} + 1459, \quad (2)$$

де  $m_{\text{CH}}$  в [г],  $V_0$  в [м/с].

Експериментальна залежність початкової швидкості снаряду від режиму згорання палива відображена у таблиці 3.

Таблиця 3

Результати вимірювання початкової швидкості тіла, що метається, за різними режимами згорання заряду та початковим тиском 0,1 МПа

Параметри	Режим згорання			
	дефлаграція	детонація	дефлаграція	детонація
	при масі тіла, кг			
	0,712		1,2	
Швидкість $V_0$ , м/с	$109 \pm 2,4_{0,9}$	$114 \pm 2,8_{0,9}$	$66,4 \pm 1,1_{0,9}$	$69,5 \pm 1,2_{0,9}$

Встановлено, що у результаті зміни режиму згорання з детонаційного на дефлаграційне в умовах проведених досліджень відбувається зниження початкової швидкості снаряду на 4–5 %. При цьому, зменшення кінетичної енергії пострілу відбувається на 9–10 %. Це підтверджує переваги застосування детонаційного режиму згорання у горючих газових системах метання.

В реальній установці, де буде відсутня мембрана, очікується зростання впливу режиму згорання, бо рух снаряду під дією стисненого газового заряду призведе до зміни початкового тиску снаряду на момент його запалювання.

За результатами експериментальних досліджень, визначено, що у разі зростання початого тиску (за рахунок підвищення густини заряду) відбувається зростання початкової швидкості (табл. 4).

З аналізу зміни кінетичної енергії отримуємо, що у разі зростання тиску заряду відбувається зростання коефіцієнту корисної дії пострілу. В умовах проведених досліджень зростання даного коефіцієнту відбулось на 5–7 %. При цьому, зі збільшенням маси снаряду інтенсивність зростання коефіцієнту корисної дії пострілу зменшується. Це пояснюється зміною співвідношення маси заряду до маси снаряду.

Таблиця 4

Залежність початкової швидкості тіла, що метається, у режимі детонаційного згорання заряду від початкового тиску

Параметри	Абсолютний початковий тиск газової горючої суміші, МПа			
	0,1	0,2	0,1	0,2
	при масі тіла, кг			
	0,712		1,2	
Швидкість $V_0$ , м/с	$114 \pm 2,8_{0,9}$	$187 \pm 3,4_{0,9}$	$69,5 \pm 1,2_{0,9}$	$117 \pm 2,9_{0,9}$

За виразом (2) отримаємо, що за кутом метання 20 градусів дальність метання для тіла зі швидкістю 114 м/с складе 835 м, а за кутом 45 градусів – 1300 м. Визначеної відстані достатньо для ведення ближнього бою з живою силою противника мінометними системами та гранатометами.

У варіантах прототипу, що досліджувався, витрати газового заряду на один постріл склали 1,7 л. При цьому, об'ємна частка горючого газу типу СПБТ склала біля 15 %. Властивість зрідження даної газової суміші під високим тиском забезпечує малі габаритно-масові показники паливної системи як складової установки метання. Витрати газової речовини у установці переважно пов'язані з киснем. Зокрема, за наведеними параметрами у разі використання балона зі стисненим киснем під тиском 10 МПа об'ємом 10 л забезпечиться біля 1000 пострілів. Тобто, за масою зарядів у 0,7 кг газодетонаційна установка метання за прототипом призведе до метання снарядів загальною масою 700 кг. Подальше удосконалення установки можливе шляхом застосування повітря як окислювача. Зазначені параметри дозволяють застосування установок такого типу на транспортних засобах.

Під час застосування систем полегшення ініціювання детонації зміна початкової швидкості снаряд по відношенню до пострілу з детонацією без застосування зазначених систем відбувалась у межах похибки вимірювань. Тобто, системи полегшення ініціювання детонації забезпечили лише зниження енергії, що забезпечує ініціювання детонації на короткій відстані у газовій детонаційній установці.

#### **Висновки:**

1. Експериментально підтверджено зниження помітності спалаху на дульному зрізі ствола у режимі детонаційного згорання у порівнянні з режимом дефлаграційного згорання.

2. Експериментально підтверджена тенденція у системах метання з детонаційним згоранням щодо зниження коефіцієнту корисної дії пострілу зі збільшенням маси снаряду, яка є характерною для систем метання з дефлаграційним згоранням. Зокрема, зі збільшенням маси снаряду 0,34 кг до 1,2 кг в умовах проведених досліджень відбулося зниження коефіцієнту корисної дії пострілу з 30 % до 12 %. У проведеному діапазоні досліджень отримано функцію залежності початкової швидкості снаряду від його маси.

3. За результатами експериментальних досліджень, визначено, що у разі зростання початого тиску (за рахунок підвищення густини заряду) відбувається не тільки зростання початкової швидкості, але й зростання коефіцієнту корисної дії пострілу. В умовах проведених досліджень зростання даного коефіцієнту відбулось на 5–7 %. При цьому, зі збільшенням маси снаряду інтенсивність зростання коефіцієнту корисної дії пострілу зменшується. Це пояснюється зміною співвідношення маси заряду до маси снаряду.

4. Встановлено, що у результаті зміни режиму згорання з детонаційного на дефлаграційний в умовах проведених досліджень відбувається зниження початкової швидкості снаряду на 4–5 %. При цьому, зменшення кінетичної енергії пострілу відбувається на 9–10 %. Це підтверджує переваги застосування детонаційного режиму зго-

рання у горючих газових системах метання.

**Література** 1. Гребонос В.В. Тенденції розвитку самохідних дульнозарядних мінометних систем / В.В. Гребонос, О.В. Князьський, О.Ф. Полегенько // – Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2013. – №1 (48). – С 94-103. 2. Третьяков Г.М., Сиротинский В.Ф., Шехтер Б.И. Курс Артиллерии Том 2 — Оборонная промышленность, 1952. — 484 с. 3. Хилько Ю. В. Детонаційні системи. Область застосування та проблеми реалізації / К. В. Коритченко, О. В. Серпухов, О. В. Галак, Ю. В. Хилько // Збірник матеріалів науково-технічної конференції ЦНДІ ОВТ ЗСУ “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України”. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2012. – С.67.4. Хилько Ю.В. Численное моделирование внутрибаллистических процессов в газодетонационной установке метания тушающих веществ / А. В. Сакун, Ю. В. Хилько, К. В. Корытченко // Проблемы пожарной безопасности. - 2014. - Вып. 36. - С. 208-217.

**Bibliography (transliterated)** 1. Grebonos V.V. Tendencii rozvitku samohidnih dul'nozaryadnih minometnih sistem / V.V. Grebonos, O.V. Knyazs'kij, O.F. Polegen'ko // – Zbirnik nau-kovih prac' CNDI OVT ZSU. – K.: CNDI OVT ZSU, 2013. – №1 (48). – S 94-103. 2. Tret'yakov G.M., Sirotinskij V.F., Shekhter B.I. Kurs Artillerii Tom 2 — Oboronnaya promyshlennost', 1952. — 484 s. 3. Hil'ko YU. V. Detonacijni sistemi. Oblast' zastosuvannya ta problemi realizacii / K. V. Koritchenko, O. V. Serpuhov, O. V. Galak, YU. V. Hil'ko // Zbirnik materialiv naukovo-tekhnichnoi konferencii CNDI OVT ZSU “Problemni pitannya rozvitku ozbroennya ta vijs'kovoï tekhniki Zbrojnih Sil Ukraïni”. – K.: CNDI OVT ZSU, 2012. – S.67.4. Hil'ko YU.V. CHislennoe modelirovanie vnutriballisticheskikh processov v gazodetonacionnoj ustanovke metaniya tushashchih veshchestv / A. V. Sakun, YU. V. Hil'ko, K. V. Korytchenko // Problemy požarnoj bezopasnosti. - 2014. - Vyp. 36. - S. 208-217.

Сакун А.В.; Хилько Ю.В.; Корытченко К.В., Белоусов И.А., Исаков А.В.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕТАНИЯ ГАЗО-ДЕТОНАЦИОННЫМ ЗАРЯДОМ

В статье представлены результаты экспериментальной проверки возможности практической реализации системы метания газо-детонационным зарядом. Исследовано изменение светимости выстрела при изменении режима сгорания заряда с дефлаграционного на детонационный, влияние начального давления на коэффициент полезного действия выстрела.

Sakun O.V., Hilko Yu.V., Korytchenko K.V., Belousov I.O., Isakov O.V.

#### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MORTAR WITH GAZO-DETONATION CHARGE

The results of experimental verification of possibility of practical realization of the mortar with a gas-detonation charge are presented in the article. Dependence of the lighting of mortar shots on the mode of combustion (deflagration or detonation) was obtained. The influence of initial pressure of the gas-detonation charge on the efficiency of shot was investigated.