

Порядок перевірки виходу порохових газів між стволом та казенником міномета під час пострілу

Procedure for Testing Powder-Gas Leakage at the Barrel–Breech Joint of a Mortar during Live Fire

Валерій Іщенко ^A

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу, e-mail: razom911@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9369-8345>

Олексій Іщенко ^B

Corresponding author: д-р філософії, доцент кафедри ракетних військ і артилерії, e-mail: ssalex13@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6693-164X>

Анатолій Дерев'янчук ^C

кандидат технічних наук, професор, професор кафедри військової підготовки, e-mail: derevjanchuk.anatoliy@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6881-560X>

Valeriy Ishchenko ^A

Senior Researcher of the Research Department, e-mail: razom911@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9369-8345>

Oleksii Ishchenko ^B

Corresponding author: PhD, Associate Professor of the Department of Missile Troops and Artillery, e-mail: ssalex13@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6693-164X>

Derevianchuk Anatolii ^C

Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Military Training, e-mail: derevjanchuk.anatoliy@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6881-560X>

^A Науково-дослідний центр Ракетних військ і артилерії, м. Суми, Україна

^B Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

^C Сумський Державний університет, м. Суми, Україна

^A Scientific Research Center of Missile Troops and Artillery, Sumy, Ukraine

^B National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

^C Sumy State University, Sumy, Ukraine

Received: June 15, 2026 | Revised: June 26, 2026 | Accepted: June 30, 2026

УДК 623.453.3:623.4.018.6

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.3.26>

Мета роботи. На основі результатів польових випробувань обґрунтувати та визначити порядок перевірки наявності прориву порохових газів між стволом і казенником міномета під час пострілу.

Метод дослідження. Основними методами дослідження є емпіричний (експериментальний), системний та порівняльний (компаративний) аналіз.

Результати дослідження. Запропонована процедура забезпечує недорогий, відтворюваний та візуально верифікований спосіб підтвердження герметичності лабіринтного різьбового з'єднання ствола і казенника сучасних мінометів. Розрив контрольної стрічки або зміщення маркера є безпосереднім свідченням прориву порохових газів і підставою для негативного висновку щодо герметичності з'єднання. Відсутність обох ознак підтверджує герметичність з'єднання та обґрунтовує позитивний висновок.

Теоретична цінність дослідження. Запропонована процедура доповнює існуючі опосередковані методи контролю, зокрема крешерний метод вимірювання тиску в каналі ствола та визначення початкової швидкості міни методом комп'ютерного зору, забезпечуючи можливість безпосереднього спостереження ознак порушення обтюрації. На відміну від зазначених методів, які дозволяють виявити дефект лише за непрямыми показниками (зниженням тиску або початкової швидкості міни), запропонований підхід забезпечує його пряму візуальну фіксацію.

Тип статті. Емпірико-методологічна.

Purpose. Based on the results of field tests, to substantiate and establish a procedure for detecting the leakage of propellant gases between the barrel and the breech of a mortar during firing.

Method. The study employs empirical (experimental), systems analysis, and comparative analysis as its primary research methods.

Findings. The proposed procedure provides a cost-effective, repeatable, and visually verifiable method for confirming the integrity of the labyrinth-threaded seal between the barrel and the breech of modern mortars. Rupture of the indicator strip or displacement of the marker constitutes direct evidence of propellant gas leakage and provides grounds for a negative conclusion regarding the integrity of the joint. The absence of both indicators confirms the integrity of the joint and provides grounds for a positive conclusion.

Theoretical implications. The proposed procedure complements existing indirect testing approaches, including crusher-gauge measurement of bore pressure and computer vision-based estimation of muzzle velocity, by providing a directly observable indicator of obturation failure. In contrast, these methods detect such defects only indirectly through reductions in bore pressure or muzzle velocity.

Paper type. Empirical and methodological.

Ключові слова. випробування мінометів; з'єднання ствола і казенника; обтюрація; прорив порохових газів; функціональні випробування; сертифікація військової техніки.

Key words. Mortar Testing; Barrel–Breech Joint; Obturation; Powder-Gas Leakage; Functional Testing; Military Equipment Certification.

Вступ

Інтенсивне надходження до Збройних Сил України різноманітної військово-технічної допомоги від країн-партнерів, зокрема мінометів і боєприпасів до них від різних виробників,

актуалізує потребу в удосконаленні керівних документів щодо випробування та сертифікації озброєння і військової техніки. На це безпосередньо вказує військова навчально-методична публікація [10], розроблена Науково-дослідним центром Ракетних військ і артилерії спільно з Командуванням Ракетних військ і артилерії Командування Сухопутних військ Збройних Сил України, у якій узагальнено практичний досвід застосування мінометних систем різних виробників, отриманих у ході російсько-української війни 2023–2025 років. Кожен новий зразок міномета, як вітчизняного, так і іноземного виробництва, підлягає перевірці на відповідність заявленим тактико-технічним характеристикам перед допуском до експлуатації у складі Збройних Сил України. Такий порядок формалізовано Постановою Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 160 «Про затвердження Порядку проведення випробувань та прийняття на озброєння (постачання) зразків озброєння, військової техніки та спеціальної техніки, засобів і обладнання іноземного виробництва» [16] та наказом Міністра оборони України від 27.08.2024 № 576 [15].

Однією з ключових процедур такої перевірки є практична стрільба на максимальних зарядах, що забезпечує найбільше навантаження на ствол, казенник, амортизатори та опорну плиту [9]. Бойові можливості артилерійських підрозділів у бою механізованої бригади безпосередньо залежать від технічної надійності кожного зразка озброєння, зокрема від міцності та герметичності його основних вузлів [13]. Проведення випробувань дає змогу виявити конструктивні дефекти, оцінити надійність, працездатність та інші експлуатаційні характеристики, що є необхідною передумовою прийняття зразка на озброєння за результатами державних і визначальних відомчих випробувань [3].

Принциповою конструктивною особливістю сучасних мінометів є відмова від мідного обтюрувального кільця на користь різьбового з'єднання ствола і казенника. Таке з'єднання формує лабіринтне ущільнення, у кільцевих порожнинах якого створюється додатковий тиск, що перешкоджає прориву порохових газів [9]. Прорив газів через це з'єднання є небажаним явищем, оскільки він зменшує початкову швидкість міни, скорочує дальність її польоту, погіршує точність стрільби та може призвести до перегріву і пошкодження елементів міномета, насамперед у зоні з'єднання ствола з казенником. Опосередкований вплив такої несправності на ключовий балістичний параметр — початкову швидкість міни — детально досліджено у працях із зовнішньої балістики артилерійських снарядів [20; 4; 7], у яких доведено, що навіть незначні відхилення від номінальних характеристик пострілу спричиняють кумулятивне зростання похибки дальності стрільби та критично впливають на ефективність ведення вогню.

Чинна практика виявлення прориву порохових газів між стволом і казенником під час випробувань ґрунтується на візуальному огляді міномета, зокрема на виявленні залишків мастила та слідів продуктів згоряння пороху на поверхні ствола. За наявності високошвидкісної відеокамери здійснюють відеофіксацію процесу пострілу, однак струмені порохових газів не завжди вдається зафіксувати через надзвичайно коротку тривалість цього процесу. Характерною особливістю сучасних мінометів є спеціальне нефарбоване покриття ствола, на якому продукти згоряння пороху в більшості випадків не залишають візуально помітних слідів. Інші підходи, що застосовуються для розв'язання суміжних завдань випробувань, зокрема крешерний метод вимірювання максимального тиску в каналі ствола [5] та визначення початкової швидкості міни методом покадрового відеоаналізу [6], дають змогу зафіксувати лише наслідки прориву газів (зміну тиску, зменшення початкової швидкості V_0), але не сам факт їх прориву. Це свідчить про наявність методологічної прогалини, що полягає у відсутності простого, доступного та придатного до польових умов методу безпосереднього підтвердження герметичності з'єднання ствола і казенника.

Розв'язання зазначеної проблеми відповідає загальним пріоритетам державної військово-промислової політики, окресленим у Розпорядженні Кабінету Міністрів України від

20.06.2018 № 442-р “Про схвалення Стратегії розвитку оборонно-промислового комплексу України на період до 2028 року”, у якому серед ключових завдань визначено “задоволення потреб українських військових формувань як за рахунок власного виробництва, так і за рахунок імпорту” із забезпеченням належної якості та відповідності зразків установленим вимогам [19].

Метою статті є обґрунтування та апробація структурованої процедури перевірки прориву порохових газів між стволом і казенником міномета під час пострілу на основі візуально-індикаційного методу.

Огляд літератури

Основи будови й експлуатації 120-мм міномета 2С12, а також класифікацію вузлів казенника як критично важливих для забезпечення герметичності каналу ствола, ґрунтовно викладено у навчальному посібнику [9], який залишається базовим джерелом для української військово-інженерної школи. Загальні аспекти будови артилерійських гармат і боеприпасів, зокрема питання обтюраторів, систематизовано у підручнику [8]. Питання внутрішньобалістичних процесів у мінометі альтернативної конструкції — газодетонаційному — досліджено у праці [12], у якій показано, що утримання міни в каналі ствола протягом часу формування газового метального заряду дає змогу зафіксувати об’єм заряду, а параметри пострілу визначаються тиском заряду, досягнутим на момент ініціювання детонації. Робота підкреслює критичне значення герметичності системи “міна–ствол–казенник” для повної реалізації енергії метального заряду.

На міжнародному рівні теоретичні основи внутрішньої балістики мінометів і гармат викладено у фундаментальній праці [23]. Сучасні методології чисельного моделювання внутрішньої та проміжної балістики із застосуванням технології динамічної сітки представлено у роботі [24]. Питання моделювання внутрішньої балістики мінометного пострілу з урахуванням полідисперсності порохових зерен висвітлено у праці [26]. Систематичний огляд основних аспектів балістики мінометної зброї наведено в роботі [30]. На рівні польової служби США доктринальні засади застосування мінометів закріплено у статуті FM 23-90 [14], де міномети характеризуються як зброя для завдання пригнічувального вогневого впливу із закритих вогневих позицій із дотриманням вимог щодо “точності та своєчасності” ведення вогню, що неможливо без забезпечення коректних балістичних характеристик кожного пострілу.

Найближчою за тематикою є робота Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки [5], у якій обґрунтовано крешерний метод визначення максимального тиску порохових газів у каналі ствола міномета для розрахунку коефіцієнта запасу міцності. Автори зазначають, що для мінометних стволів коефіцієнт запасу міцності має становити не менше 2,0, а сама перевірка проводилася на дослідних зразках мінометів калібру 60, 82 і 120 мм. Запропонований метод дає змогу оцінити міцність ствола загалом, однак не дозволяє безпосередньо оцінити стан різьбового з’єднання ствола і казенника, оскільки крешерні прилади розміщують на хвостовику міни — у зоні дії максимального тиску. Тиск, зафіксований крешером, може залишатися в межах норми навіть за наявності незначного прориву газів. Встановлені у роботі [5] стійкі лінійні залежності приросту тиску від маси порохового заряду дають змогу розрахувати масу контрольних зарядів для перевірки конструктивної міцності, однак герметичність (обтюратор) різьбового з’єднання залишається поза сферою прямого контролю.

Іншу опосередковану ознаку — зменшення початкової швидкості міни — запропоновано визначати методом покадрового відеоаналізу із застосуванням камери смартфона з частотою знімання 60 кадрів за секунду [6]. Автори прямо зазначають, що вимірювання початкової швидкості “допомагає оцінити зношення каналу ствола, втрати енергії метального заряду та необхідність технічного обслуговування або заміни компонентів

обтюрувального кільця” [6]. Метод є простим для застосування у польових умовах (похибка $\leq 10\%$), однак також не забезпечує прямого підтвердження факту прориву газів: зменшення початкової швидкості V_0 може бути наслідком як прориву газів, так і інших чинників — відхилення маси міни, зношення каналу ствола або температурних ефектів. Вплив відхилення маси снаряда на кінематичні параметри руху детально проаналізовано у роботі [20], а вплив перекидального моменту — у праці [1]. Математичні моделі польоту снаряда, які дають змогу кількісно оцінити вплив кожного із зазначених чинників, наведено у роботах [4; 7]. Аеродинамічні коефіцієнти надзвукових мінометних снарядів і параметри їх поперечного зміщення наведено у праці [25]. Чисельне моделювання внутрішньої балістики 120-мм мінометної системи з оцінкою впливу параметрів обтюрації на початкову швидкість міни представлено у роботі [22].

Окремий напрям досліджень присвячено підготовці особового складу до експлуатації мінометних систем із використанням віртуальних тренажерних комплексів [21], що опосередковано підтверджує важливість стандартизованих процедур поводження з мінометом — від підготовки обслуги до проведення випробувань зразків.

Випробування виробів озброєння та військової техніки в Україні регламентуються Постановою Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 160 [16], наказом Міністра оборони України від 27.08.2024 № 576 [15] та наказом Міністра оборони України від 04.01.2019 № 4 “Інструкція з категорювання ракетно-артилерійського озброєння” [11]. Зasadничі норми закріплено у законах України “Про оборону України” [18] та “Про оборонні закупівлі” [17], а стратегічні пріоритети — у Розпорядженні Кабінету Міністрів України від 20.06.2018 № 442-р [19].

На міжнародному рівні ключове значення мають угоди НАТО зі стандартизації STANAG 4107 (взаємне визнання державного гарантування якості) [27], STANAG 4370 (випробування на вплив зовнішніх факторів) [28] та STANAG 4704 (вимоги до калібрування випробувального і вимірювального обладнання) [29]. Особливості застосування цих стандартів в Україні детально проаналізовано у роботах [3; 2], у яких показано, що чинні нормативні документи визначають загальні вимоги до забезпечення єдності вимірювань і достовірності контролю параметрів, однак не конкретизують процедуру виявлення прориву порохових газів через з’єднання ствола і казенника.

Узагальнення результатів аналізу джерел дає підстави стверджувати, що чинні методи перевірки мінометних стволів зосереджені або на оцінюванні загальної конструктивної міцності ствола (крешерний метод), або на визначенні непрямих балістичних показників (початкової швидкості V_0), або на нормативно-організаційних аспектах проведення випробувань (STANAG, ВСТ). Водночас у відкритих джерелах не виявлено прямого, простого, відтворюваного та придатного до застосування у польових умовах методу візуального підтвердження герметичності різьбового з’єднання ствола і казенника під час випробувань мінометів різних виробників. Саме на усунення цієї методологічної прогалини спрямована запропонована у статті процедура.

Методологія дослідження

В Україні проводяться як державні та приймально-здавальні випробування мінометів української розробки, так і функційні випробування мінометів іноземного виробництва, а також інші види (категорії) випробувань, визначені керівними документами. Основними етапами випробувань є:

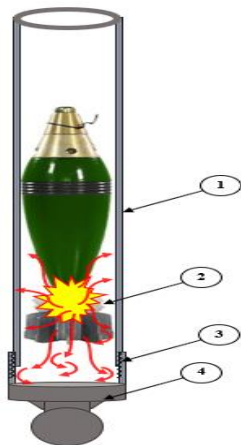
для державних випробувань — офіційна процедура, що охоплює тривалу перевірку міномета в різних умовах експлуатації та повну перевірку ресурсу ствола;

для приймально-здавальних випробувань — контрольні випробування кожного міномета з метою перевірки його якості перед передачею військовим підрозділам;

для функційних випробувань і прийняття на озброєння (постачання) зразків озброєння (мінометів) іноземного виробництва — процес перевірки, що встановлює, чи відповідають фактичні характеристики та функціональні можливості об'єкта (міномета) його призначенню і функціональним вимогам замовника, з метою оцінювання відповідності бойових, технічних та експлуатаційних характеристик об'єкта встановленим вимогам [16].

Усі зазначені випробування передбачають перевірку міномета бойовою стрільбою. Важливо правильно та якісно фіксувати герметичність лабіринтних ущільнень у казеннику під час пострілу. Конструкція сучасного міномета передбачає відмову від мідного обтюрувального кільця та його заміну інноваційним різьбовим з'єднанням. Таке з'єднання створює в кільцевих порожнинах додатковий тиск, який перешкоджає прориву порохових газів крізь різьбове з'єднання казенника міномета (рис. 1).

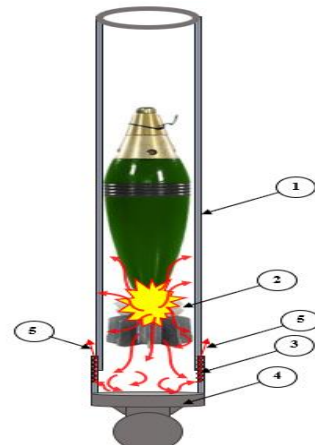
У випадку, коли порохові гази виходять між стволом і казенником та не створюють належного тиску на дно міни, це призводить до зменшення початкової швидкості снаряда (рис. 2). Своєю чергою, зменшується дальність польоту міни та точність ураження цілі. Витік газів може спричинити перегрів і пошкодження елементів міномета, особливо в районі казенника та ствола. Це може негативно вплинути на надійність і термін служби зброї [8; 9]. Крім того, витік газів може призвести до травмування стрільця, особливо в разі потрапляння газів на шкіру або в очі, а також створити пожежонебезпечну ситуацію.



- 1 — ствол міномета;
- 2 — зона високого тиску порохових газів під час пострілу;
- 3 — різьбове з'єднання ствола та казенника (казенної частини) міномета;
- 4 — казенник (казенна частина) міномета.

Рисунок 1: Дія порохових газів у каналі ствола міномета під час пострілу без виходу (прориву) газів

Джерело: розроблено автором.



- 1 — ствол міномета;
- 2 — зона високого тиску порохових газів під час пострілу;
- 3 — різьбове з'єднання ствола та казенника (казенної частини) міномета;
- 4 — казенник (казенна частина) міномета;
- 5 — вихід порохових газів між стволом та казенником.

Рисунок 2: Дія порохових газів у каналі ствола міномета під час пострілу з виходом (проривом) газів

Джерело: розроблено автором.

В умовах бойової стрільби під час функційних випробувань іноземного міномета було підтверджено доцільність упровадження запропонованого порядку перевірки виходу порохових газів між стволом і казенником міномета.

Структура порядку перевірки виходу порохових газів між стволом і казенником міномета (далі — Порядок) є встановленою процедурою, що визначає послідовність дій і правил проведення перевірки дослідною командою (обслугою міномета) під час випробувань міномета на функційність. У загальному вигляді структуру Порядку наведено на рис. 3.

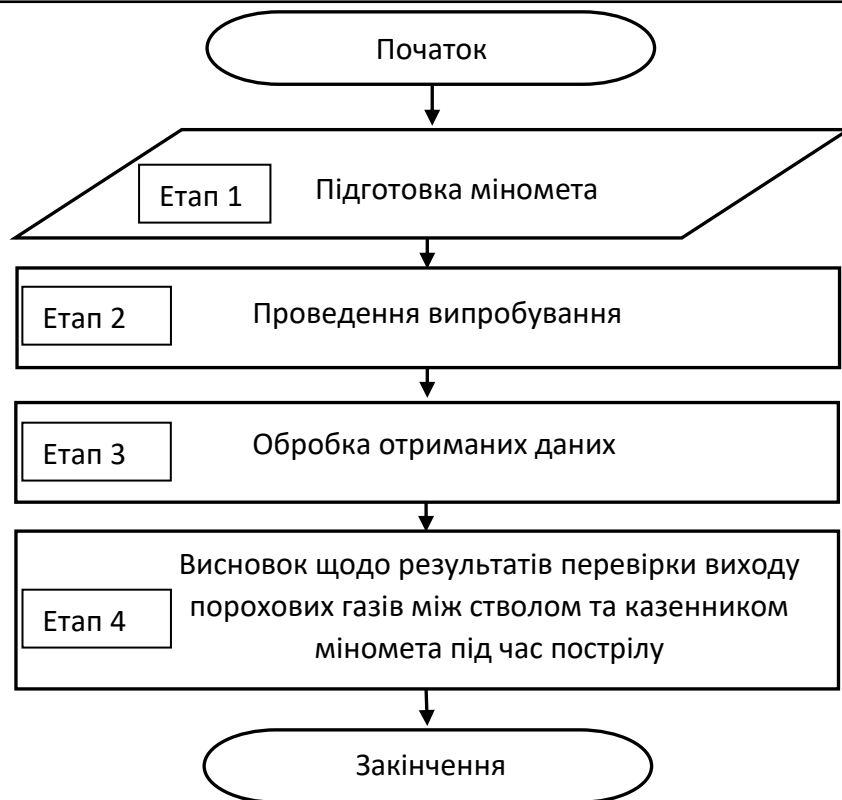


Рисунок 3: Структура порядку перевірки виходу порохових газів між стволом та казенником міномета під час пострілу

Джерело: розроблено автором.

Перевірку проведено на іноземному мінометі (далі — об'єкт випробувань), отриманому у складі міжнародної військово-технічної допомоги Збройним Силам України. Об'єкт випробувань пройшов попередню зовнішню технічну експертизу, складовою частиною якої є контроль міток сполучення ствола з казенником, нанесених виробником у вигляді кернів або прорізів, що вказують на коректне положення казенника після монтажу. Положення кернів зафіксовано як вихідне для всіх подальших операцій.

Для випробувань використано штатні бойові міни, сумісні з об'єктом випробувань відповідно до даних [10]. Усі постріли пропонується здійснювати на максимальному заряді, який забезпечує найбільше навантаження на ствол, казенник, амортизатори та опорну плиту [9], або на визначеному заряді.

Запропонована процедура ґрунтується на двох послідовних спостереженнях. По-перше, у разі прориву порохових газів через різьбове з'єднання ствола та казенника потік газів має достатню кінетичну енергію, щоб механічно порушити цілісність тонкого паперового шару, накладеного безпосередньо на лінію з'єднання. По-друге, потік газів здатний змістити дрібнодисперсний індикаторний маркер (крейду або вапно), нанесений по тій самій лінії з'єднання, що залишає видимі сліди як на стволі, так і на стрічці. Підхід поєднує два незалежні спостережувані параметри, що знижує ймовірність хибнопозитивного або хибнонегативного результату внаслідок випадкових артефактів.

Для проведення випробування використовували таке обладнання: паперову клейку стрічку (малярну) шириною 25–50 мм, без металізованого покриття; дрібнодисперсний кольоровий індикаторний маркер — подрібнену крейду або гашене вапно (Ca(OH)_2); фотокамеру для перед- і післяпострільної фіксації — рекомендовано дзеркальну фотокамеру (DSLR) або високоякісну камеру смартфона; опційно — високошвидкісну відеокамеру або

камеру смартфона з частотою не менше 60 кадрів за секунду, що відповідає рекомендаціям [6] щодо відеофіксації мінометних балістичних процесів; засоби індивідуального захисту відповідно до вимог техніки безпеки під час стрільби; технічну документацію на об'єкт випробувань і боеприпаси; перелік контрольних точок огляду.

Результати дослідження

Запропоновану процедуру було апробовано під час функційних випробувань іноземного міномета в межах програми перевірки зразків, отриманих у складі військово-технічної допомоги. Постріли виконували штатними бойовими мінами на визначеному заряді (зоні). Нижче представлено результати її послідовного виконання за етапами.

Виконання етапу 1 — підготовка міномета. Цей етап призначений для проведення чітко визначених підготовчих заходів, а саме:

перевірки правильності встановлення казенника міномета, тобто суміщення мітки на казеннику (BREECH) та білої смуги на стволі (BARREL) або догвинчування болта фіксації ствола залежно від конструкції міномета (рис. 4);



а)



б)

Рисунок 4: Розташування міток сполучення на стволі та казеннику до пострілу.

Стрілками вказано керни сполучення: а – міномет з міткою сумісності казенника та ствола;

б – міномет з болтом для фіксації ствола

Джерело: розроблено автором.

Установлення індикаційної стрічки (малюрного паперового скотчу) та маркера (порошку кольорової крейди або вапна) над стиком казенника і ствола;
установлення міномета в бойове положення (положення для стрільби);
фото- або відеофіксації стану індикаційної стрічки перед стрільбою (рис. 5).



Рисунок 5: Фотофіксація стану індикаційної стрічки перед стрільбою.

Джерело: розроблено автором.

Виконання етапу 2 — проведення випробування. Цей етап призначений для проведення стрільби з міномета. Дослідна команда (обслуга міномета) здійснює постріл бойовою або інертною міною на визначеному заряді (зоні).

Виконання етапу 3 — обробка отриманих даних. Цей етап призначений для перевірки стану індикаційної стрічки та огляду слідів маркера від прориву порохових газів на стволі після пострілу. Наявність розривів індикаційної стрічки та слідів руху маркера підтверджує прорив порохових газів під час стрільби. Відсутність цих ознак підтверджує герметичність з'єднання ствола і казенника, а також відповідність міномета заявленим тактико-технічним характеристикам (далі — ТТХ).

Проводять фотофіксацію індикаційної стрічки та слідів маркера, а також перегляд відеофіксації пострілу за її наявності для визначення того, що відбувалося внаслідок дії порохових газів (рис. 6). Відеофіксація може відображати рух маркера та супутні явища, зокрема полум'я й ударну хвилю, що виникають унаслідок контакту гарячих газів із повітрям.



Рисунок 6: Фотофіксація стану індикаційної стрічки після пострілу.

Джерело: розроблено автором.

Виконання етапу 4 — формування висновку щодо результатів перевірки прориву порохових газів між стволом і казенником міномета під час пострілу. За результатами випробування формують загальний висновок щодо наявності або відсутності прориву порохових газів через різьбове з'єднання ствола та казенника (казенної частини) міномета, а також щодо герметичності й надійності цього з'єднання, а саме:

пошкодження (розрив) індикаційної стрічки, наявність слідів маркера на стволі та інших частинах міномета, підтверджені фото- і відеофіксацією цих ознак, є підставою для висновку, що міномет не підтвердив заявлені ТТХ і не витримав функційних випробувань;

відсутність пошкодження (розриву) індикаційної стрічки, відсутність слідів маркера на стволі та інших частинах міномета, підтверджені фото- і відеофіксацією цих ознак, є підставою для висновку, що міномет витримав функційні випробування.

Результати випробувань оформлюють у вигляді протоколів випробувань, які містять інформацію про проведені перевірки, отримані результати та сформовані висновки.

Процедура забезпечила однозначний, документально підтверджений висновок щодо стану з'єднання ствола і казенника. Повний цикл процедури (етапи 1–4) виконується силами штатного розрахунку обслуги протягом часу, співмірного з нормативним часом підготовки міномета до стрільби. Вартість витратних матеріалів (паперова стрічка, крейда) є мінімальною. Процедура не потребує демонтажу казенника, не порушує конструкції міномета і не впливає на хід наступних випробувань.

Обговорення

Запропонована процедура усуває методологічну прогалину, ідентифіковану в огляді літератури, оскільки забезпечує пряме, візуально задокументоване підтвердження герметичності з'єднання ствола та казенника, чого не забезпечує жоден з опосередкованих методів, описаних у відкритих джерелах.

У дослідженні [5] обґрунтовано крешерний метод вимірювання максимального тиску порохових газів у каналі ствола для розрахунку коефіцієнта запасу міцності мінометного ствола (не менше 2,0 для мінометів калібру 60–120 мм). Цей метод дає змогу оцінити загальну міцність ствола, однак не дозволяє безпосередньо визначити стан вузла з'єднання ствола і казенника, оскільки крешерний прилад розміщують у зоні високого тиску — на хвостовику міни. Прорив порохових газів через різьбове з'єднання, який не спричиняє істотної зміни максимального тиску в каналі ствола, залишається невиявленим крешерним методом. Запропонована процедура та крешерний метод є взаємодоповнювальними: перша характеризує герметичність різьбового з'єднання, другий — конструктивну міцність ствола. Спільне застосування обох методів забезпечує комплексну оцінку безпеки та працездатності мінометної системи під час стрільби максимальним зарядом.

У роботі [6] запропоновано метод визначення початкової швидкості міни на основі покадрового аналізу відеозапису, отриманого камерою смартфона з частотою 60 кадрів за секунду. Автори зазначають, що зменшення початкової швидкості V_0 може свідчити про “зношення каналу ствола, втрати енергії метального заряду та необхідність технічного обслуговування або заміни компонентів обтюрувального кільця” [6]. Цей метод є простим, доступним і забезпечує отримання кількісного значення початкової швидкості V_0 , однак не дозволяє розмежувати причини її зменшення, серед яких можуть бути прорив порохових газів через різьбове з'єднання, зношення каналу ствола, відхилення маси міни [20] або вплив температури навколишнього середовища. Запропонована процедура усуває саме цю методологічну невизначеність, оскільки дає змогу підтвердити або спростувати наявність порушення герметичності (обтюрації) як причини зміни початкової швидкості V_0 . Інтегроване застосування вимірювання V_0 та індикаційної перевірки герметичності різьбового з'єднання дозволяє достовірніше встановити причину зміни балістичних характеристик пострілу.

STANAG 4370 *Environmental Testing* регламентує процедури випробувань озброєння та військової техніки на вплив зовнішніх чинників [3]. Запропонована процедура є методологічно сумісною з вимогами STANAG 4370 у частині візуально-документального контролю стану виробу до та після проведення стресового випробування (у цьому випадку — пострілу максимальним зарядом). Інтеграція запропонованої процедури до національних програм випробувань мінометів іноземного виробництва, що надходять у складі міжнародної військово-технічної допомоги, відповідає завданням, визначеним Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.06.2018 № 442-р [19], зокрема щодо задоволення потреб українських військових формувань як за рахунок власного виробництва, так і за рахунок імпорту із забезпеченням належної якості та відповідності зразків заявленим характеристикам. Закон України “Про оборонні закупівлі” [17] встановлює вимогу щодо відповідності систем управління якістю постачальників міжнародним стандартам, що додатково підтверджує актуальність розроблення формалізованих процедур функційних випробувань.

У системі випробувань мінометів запропонована процедура належить до категорії функціональних якісних випробувань [2]. Вона не замінює державних або приймально-здавальних випробувань, а є їх допоміжним елементом, який дає змогу швидко, економічно та без застосування складного обладнання перевірити критично важливий вузол перед допуском зразка до подальшої експлуатації або після виконання ремонтних робіт. Процедура органічно вписується в сучасну концепцію цифровізації та віртуалізації процесів підготовки й

експлуатації мінометних систем, окреслену у праці [21], як практичний інструмент перевірки технічної готовності, що передує бойовому застосуванню міномета.

Подальші дослідження доцільно зосередити на: розробленні проекту військового стандарту (ВСТ), який регламентуватиме порядок проведення випробувань із застосуванням запропонованої процедури; інтеграції процедури до програм державних, прийнятно-здавальних та функційних випробувань мінометів іноземного виробництва відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 160 [16]; масштабній апробації процедури на боєприпасах різних виробників, перелічених у [10], з метою накопичення статистичної бази для оцінювання ефективності систем обтюрації; узгодженні процедури з вимогами STANAG 4517 у частині забезпечення безпеки артилерійських систем великого калібру та STANAG 4370 у частині візуально-документального контролю результатів стресових випробувань.

Висновки

Запропоновано та апробовано чотириетапну процедуру виявлення прориву порохових газів через різьбове з'єднання ствола і казенника сучасних мінометів під час пострілу на основі візуально-індикаційного методу, що поєднує використання паперової клейкої стрічки та дрібнодисперсного кольорового маркера (крейди або вапна) як індикаторів проходження потоку порохових газів через різьбове з'єднання, з обов'язковою фотофіксацією стану з'єднання до та після пострілу.

Запропонована процедура усуває прогалину в методичному забезпеченні випробувань мінометів, оскільки забезпечує пряме візуальне підтвердження герметичності (або порушення герметичності) з'єднання ствола і казенника, чого не забезпечують опосередковані методи, зокрема крешерний метод вимірювання тиску порохових газів [5] та метод комп'ютерного зору для визначення початкової швидкості міни [6].

Процедура відповідає вимогам нормативно-правових актів України у сфері випробувань озброєння та військової техніки, зокрема Постанови Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 № 160 [16] та наказу Міністра оборони України від 27.08.2024 № 576 [15], а також узгоджується з нормативно-методологічними підходами, визначеними Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.06.2018 № 442-р щодо розвитку оборонно-промислового комплексу України до 2028 року [19].

Запропонована процедура є економічною, не потребує застосування спеціалізованого обладнання та може виконуватися у польових умовах силами штатного розрахунку міномета, що відповідає вимогам щодо доступності функційних випробувань для широкого парку зразків мінометного озброєння, отриманих у складі міжнародної військово-технічної допомоги та перелічених у СВП 7-(07)274 [10].

Перспективними напрямками подальших досліджень є нормативне закріплення запропонованої процедури у форматі військового стандарту (ВСТ), її масштабна апробація з накопиченням статистичних даних щодо ефективності виявлення порушень герметичності різьбового з'єднання, а також узгодження процедури з вимогами релевантних угод НАТО зі стандартизації, зокрема STANAG 4370 та STANAG 4517.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Використання штучного інтелекту

Мовне редагування, переклад, технічна перевірка тексту.

Список використаних джерел:

1. Бондаренко П. М., Косовцов В. С. Аналіз сил, що створюють перекидальний момент в момент пострілу артилерійської гармати 155-мм Assegai T6 Mk 1. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2024. № 20. С. 5–11. URL: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.20.2024.01> (дата звернення: 10.06.2026).
2. Борщ В. В., Вервейко О. І., Семироз А. О. Деякі проблемні питання із забезпечення єдності вимірювань під час випробувань озброєння та військової техніки. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2022. Вип. № 1(11). С. 13–22. URL: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.11.2022.02> (дата звернення: 10.06.2026).
3. Борщ В. В., Вервейко О. І., Світенко М. І., Семироз А. О. Деякі особливості застосування стандартів НАТО щодо забезпечення єдності вимірювань при випробуваннях виробів озброєння та військової техніки. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2023. Вип. 1(15). С. 26–33. URL: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.15.2023.04> (дата звернення: 10.06.2026).
4. Бубенщиков Р. В., Бондаренко С. В. Математична модель польоту снаряда як модифікована модель матеріальної точки у явній формі. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. 2023. Вип. 2(42). С. 24–33.
5. Векленко Ю. А., Бардін О. А., Рудник М. В. Визначення коефіцієнта запасу міцності мінометних стволів за допомогою крешерних приладів. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2019. Вип. № 2. С. 47–52. URL: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.2.2019.07> (дата звернення: 10.06.2026).
6. Гера В. Я., Баган А. В., Лаврут О. О., Снітков К. І., Сівак О. І. Метод визначення швидкості мінометного боєприпасу на основі комп'ютерного зору. *Військово-технічний збірник*. 2025. № 32. С. 9–17. URL: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.32.2025.9-17> (дата звернення: 10.06.2026).
7. Грабчак В. І., Бондаренко С. В., Стеців С. В. Математична модель руху центру мас снаряда з гіроскопічною стабілізацією. *Військово-технічний збірник*. 2014. № 2(11). С. 7–13.
8. Дерев'янчук А. Й. Артилерійська зброя : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2011.
9. Дробан О. М., Бондаренко С. В., Федор Б. С., Євдокімов П. М., Чумакевич В. О. Будова та експлуатація 120-мм міномета 2С12 : навч. посіб. Львів : Академія СВ, 2012. 184 с.
10. Довідник з використання мінометних пострілів та мінометів різних виробників : військова навч.-метод. публ. СВП 7-(07)274. 3-тє вид. Суми : Науково-дослідний центр Ракетних військ і артилерії; Командування ракетних військ і артилерії Командування Сухопутних військ Збройних Сил України, 2025. 105 с.
11. Інструкція з категорювання ракетно-артилерійського озброєння : наказ Міністра оборони України від 04.01.2019 р. № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0080-19> (дата звернення: 10.06.2026).
12. Коритченко К. В., Мартиненко В. Г., Касімов А. О., Кіріченко О. Л., Прокопенко Ю. С. Електромагнітне утримання міни в каналі ствола газодетонаційного міномета. *Військово-технічний збірник*. 2023. № 29. С. 44–50. URL: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.29.2023.44-50> (дата звернення: 10.06.2026).
13. Науменко І. В., Мокроцький М. Ю., Майстренко О. В. Методика визначення можливого бойового навантаження артилерійського підрозділу в бою механізованої бригади.

- Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2023. Вип. 4(18). С. 70–76. URL: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.18.2023.10> (дата звернення: 10.06.2026).
14. Польовий статут ЗС США FM 23-90 “Міномети” : технічний ордер 11W2-5-13-21 : [укр. переклад] / Штаб міністерств сухопутних військ і повітряних сил ЗС США. 2022. 160 с.
15. Про затвердження Інструкції з організації проведення випробувань зразків озброєння та військової техніки : наказ Міністерства оборони України від 27.08.2024 р. № 576 ; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14.10.2024 р. за № 1540/42885. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1540-24> (дата звернення: 10.06.2026).
16. Про затвердження Порядку проведення випробувань та прийняття на озброєння (постачання) зразків озброєння, військової техніки та спеціальної техніки, засобів і обладнання іноземного виробництва : постанова Кабінету Міністрів України від 17.02.2021 р. № 160. *Офіційний вісник України*. 2021. № 21. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/160-2021-п> (дата звернення: 10.06.2026).
17. Про оборонні закупівлі : Закон України від 17.07.2020 р. № 808-IX. *Офіційний вісник України*. 2020. № 67. Ст. 2143. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-20> (дата звернення: 10.06.2026).
18. Про оборону України : Закон України від 06.12.1991 р. № 1932-XII. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 9. Ст. 106. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12> (дата звернення: 10.06.2026).
19. Про схвалення Стратегії розвитку оборонно-промислового комплексу України на період до 2028 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.06.2018 р. № 442-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/442-2018-р> (дата звернення: 10.06.2026).
20. Ткачук В. М., Величко Л. Д., Войтович М. І., Сорокатиий М. І. Вплив відхилення маси снаряда на кінематичні параметри руху. *Військово-технічний збірник*. 2022. № 27. С. 59–64. URL: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.59-64> (дата звернення: 10.06.2026).
21. Чопа Д. А., Дерев'янчук А. Й., Москаленко Д. Р., Іщенко В. П. Віртуалізація процесу підготовки мінометної обслуги як елементу розвідувально-вогневого комплексу. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2023. № 3(48). С. 122–129. URL: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-48-3-122-129> (дата звернення: 10.06.2026).
22. Anderson R. D. Mortar Interior Ballistics: Sensitivity Studies Using IBHVG2 and Progress Toward a Fully Two-Dimensional, Two-Phase Reactive Flow Code : technical report ARL-TR-3760. Aberdeen Proving Ground, MD : U.S. Army Research Laboratory, 2006.
23. Carlucci D. E., Jacobson S. S. Ballistics : Theory and Design of Guns and Ammunition. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press / Taylor & Francis Group, 2018.
24. Guermonprez G., Gaillard T., Dupays J., Anthoine J., Demarthon R. A methodology to simulate interior and intermediate ballistics with dynamic mesh technique and lumped parameter code. *Defence Technology*. 2025. Vol. 49. P. 447–464. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2025.02.021> (дата звернення: 10.06.2026).
25. Magier M., Merda T. Drag coefficients for supersonic mortar projectiles. *Problems of Mechatronics: Armament, Aviation, Safety Engineering*. 2016. Vol. 7, No. 4. P. 21–28.
26. Pautard M., Chauveau C., Halter F., Coulouarn C. Modelling of the internal ballistics of mortar including polydisperse gunpowder size : conference paper. 51st International Annual Conference of the Fraunhofer ICT (Karlsruhe, Germany, June 2022). URL: <https://hal.science/hal-03714977> (дата звернення: 10.06.2026).
27. STANAG 4107 Ed. 11. Mutual acceptance of government quality assurance and usage of the allied quality assurance publications (AQAP). Brussels : NATO Standardization Office, 2019. 5 p.

28. STANAG 4370 Ed. 7. Environmental testing. Brussels : NATO Standardization Office, 2019. 5 p.
29. STANAG 4704 Ed. 2. NATO requirements for calibration support of test and measurement equipment. Brussels : NATO Standardization Office, 2017. 6 p.
30. Sutejo F. Ballistics study of mortar weapon technology. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*. 2024. Vol. 45, No. 2. P. 703–710.

References

1. Bondarenko, P. M., & Kosovtsov, V. S. (2024). Analiz syl, shcho stvoriuiut perekydalnyi moment v moment postrilu artyleriiskoi harmaty 155-mm Assegai T6 Mk 1 [Analysis of the forces that create an overturning moment at the moment of firing of the 155-mm Assegai T6 Mk 1 artillery gun]. *Scientific Works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 20, 5–11. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.20.2024.01> [in Ukrainian]
2. Borshch, V. V., Verveiko, O. I., & Semyroz, A. O. (2022). Deiaki problemni pytannia iz zabezpechennia yednosti vymiriuvan pid chas vyprobuvan ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky [Some problematic issues of ensuring the uniformity of measurements during testing of armament and military equipment]. *Scientific Works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 11(1), 13–22. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.11.2022.02> [in Ukrainian]
3. Borshch, V. V., Verveiko, O. I., Svitenko, M. I., & Semyroz, A. O. (2023). Deiaki osoblyvosti zastosuvannia standartiv NATO shchodo zabezpechennia yednosti vymiriuvan pry vyprobuvanniakh vyrobiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky [Some features of the application of NATO standards regarding ensuring the uniformity of measurements during testing of armament and military equipment]. *Scientific Works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 15(1), 26–33. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.15.2023.04> [in Ukrainian]
4. Bubenshchykov, R. V., & Bondarenko, S. V. (2023). Matematychna model polotu snariada yak modyfikovana model materialnoi tochky u yavonii formi [The mathematical model of the projectile flight as a modified model of the material point in express form]. *Scientific Works of the National Academy of the National Guard of Ukraine*, 2(42), 24–33. [in Ukrainian]
5. Veklenko, Yu. A., Bardin, O. A., & Rudnyk, M. V. (2019). Vyznachennia koefitsienta zapasu mitsnosti minometnykh stvoliv za dopomohoiu kresherskykh pryladiv [Determination of the strength margin factor of mortar barrels by means of crusher gauges]. *Scientific Works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 2, 47–52. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.2.2019.07> [in Ukrainian]
6. Hera, V. Ya., Bahan, A. V., Lavrut, O. O., Snitkov, K. I., & Sivak, O. I. (2025). Metod vyznachennia shvydkosti minometnoho boieprypasu na osnovi kompiuternoho zoru [A method for determining the speed of a mortar projectile based on computer vision]. *Military Technical Collection*, 32, 9–17. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.32.2025.9-17> [in Ukrainian]
7. Hrabchak, V. I., Bondarenko, S. V., & Stetsiv, S. V. (2014). Matematychna model rukhu tsentru mas snariada z hiroskopichnoi stabilizatsiiei [Mathematical model of movement of center of shell mass with gyroscopic stabilization]. *Military Technical Collection*, 2(11), 7–13. [in Ukrainian]
8. Derevianchuk, A. Y. (2011). *Artyleriiska zbroia: Navchalnyi posibnyk* [Artillery weapons: A study guide]. Sumy State University. [in Ukrainian]
9. Droban, O. M., Bondarenko, S. V., Fedor, B. S., Yevdokimov, P. M., & Chumakevych, V. O. (2012). *Budova ta ekspluatatsiia 120-mm minometa 2S12: Navchalnyi posibnyk* [Design and operation of the 120-mm 2S12 mortar: A study guide]. Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy. [in Ukrainian]

10. Scientific Research Center of Missile Troops and Artillery. (2025). *Dovidnyk z vykorystannia minometnykh postriliv ta minometiv riznykh vyrobnykiv* [Reference book on the use of mortar shots and mortars of various manufacturers] (Military Reference Publication SVP 7-(07)274, 3rd ed.). Scientific Research Center of Missile Troops and Artillery; Command of Missile Troops and Artillery of the Land Forces Command of the Armed Forces of Ukraine. [in Ukrainian]
11. Ministry of Defence of Ukraine. (2019). *Instruktsiia z katehoruvannia raketno-artyleryiskoho ozbroiennia* [Instruction on categorization of missile and artillery armament] (Order of the Minister of Defence of Ukraine of 04.01.2019 No. 4). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0080-19> [in Ukrainian]
12. Korytchenko, K. V., Martynenko, V. H., Kasimov, A. O., Kirichenko, O. L., & Prokopenko, Yu. S. (2023). Elektromahnitne utrymannia miny v kanali stvola hazodetonatsiinoho minometa [Electromagnetic retention of a mine in the barrel channel of a gas-detonation mortar]. *Military Technical Collection*, 29, 44–50. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.29.2023.44-50> [in Ukrainian]
13. Naumenko, I. V., Mokrotskyi, M. Yu., & Maistrenko, O. V. (2023). Metodyka vyznachennia mozhlyvoho boiovoho navantazhennia artileryiskoho pidrozdilu v boiu mekhanizovanoi bryhady [Methodology for determining the possible combat load of an artillery unit in a mechanized brigade battle]. *Scientific Works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 18(4), 70–76. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.18.2023.10> [in Ukrainian]
14. U.S. Department of the Army. (2022). *Field Manual 23-90: Mortars* (Ukrainian translation; Technical Order 11W2-5-13-21). Headquarters, Department of the Army.
15. Ministry of Defence of Ukraine. (2024). *Pro zatverdzhennia Instruktsii z orhanizatsii provedennia vyprobuvan zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki* [On the approval of the Instruction on the organisation of testing of armament and military equipment samples] (Order of the Minister of Defence of Ukraine of 27.08.2024 No. 576; registered with the Ministry of Justice of Ukraine on 14.10.2024 under No. 1540/42885). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1540-24> [in Ukrainian]
16. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). *Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia vyprobuvan ta pryiniattia na ozbroiennia (postachannia) zrazkiv ozbroiennia, viiskovoi tekhniki ta spetsialnoi tekhniki, zasobiv i obladnannia inozemnoho vyrobnytstva* [On the approval of the Procedure for conducting tests and adopting for service (supply) samples of armament, military equipment and special equipment, means and equipment of foreign production] (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 17.02.2021 No. 160). *Official Gazette of Ukraine*, 21. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/160-2021-п> [in Ukrainian]
17. Verkhovna Rada of Ukraine. (2020). *Pro oboronni zakupivli* [On defence procurement] (Law of Ukraine of 17.07.2020 No. 808-IX). *Official Gazette of Ukraine*, 67, art. 2143. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-20> [in Ukrainian]
18. Verkhovna Rada of Ukraine. (1992). *Pro oboronu Ukrainy* [On the defence of Ukraine] (Law of Ukraine of 06.12.1991 No. 1932-XII). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 9, art. 106. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12> [in Ukrainian]
19. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2018). *Pro skhvalennia Stratehii rozvytku oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrainy na period do 2028 roku* [On the approval of the Strategy for the development of the defence industrial complex of Ukraine for the period up to 2028] (Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 20.06.2018 No. 442-p). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/442-2018-п> [in Ukrainian]
20. Tkachuk, V. M., Velychko, L. D., Voitovych, M. I., & Sorokatyi, M. I. (2022). Vplyv vidkhylennia masy snariada na kinematychni parametry rukhu [The influence of projectile mass deviation

- on kinematic parameters of motion]. *Military Technical Collection*, 27, 59–64. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.59-64> [in Ukrainian]
21. Chopa, D. A., Derevianchuk, A. Y., Moskalenko, D. R., & Ishchenko, V. P. (2023). Virtualizatsiia protsesu pidhotovky minometnoi obsluhy yak elementu rozvidualno-vohnevoho kompleksu [Virtualization of the process of training a mortar crew as an element of the reconnaissance and fire complex]. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 48(3), 122–129. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-48-3-122-129> [in Ukrainian]
22. Anderson, R. D. (2006). *Mortar interior ballistics: Sensitivity studies using IBHVG2 and progress toward a fully two-dimensional, two-phase reactive flow code* (Technical Report ARL-TR-3760). U.S. Army Research Laboratory.
23. Carlucci, D. E., & Jacobson, S. S. (2018). *Ballistics: Theory and design of guns and ammunition* (3rd ed.). CRC Press / Taylor & Francis Group.
24. Guermonprez, G., Gaillard, T., Dupays, J., Anthoine, J., & Demarthon, R. (2025). A methodology to simulate interior and intermediate ballistics with dynamic mesh technique and lumped parameter code. *Defence Technology*, 49, 447–464. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2025.02.021>
25. Magier, M., & Merda, T. (2016). Drag coefficients for supersonic mortar projectiles. *Problems of Mechatronics: Armament, Aviation, Safety Engineering*, 7(4), 21–28.
26. Pautard, M., Chauveau, C., Halter, F., & Coulouarn, C. (2022, June). *Modelling of the internal ballistics of mortar including polydisperse gunpowder size* [Conference paper]. 51st International Annual Conference of the Fraunhofer ICT, Karlsruhe, Germany. <https://hal.science/hal-03714977>
27. NATO Standardization Office. (2019a). *STANAG 4107 Ed. 11: Mutual acceptance of government quality assurance and usage of the allied quality assurance publications (AQAP)*. NSO.
28. NATO Standardization Office. (2019b). *STANAG 4370 Ed. 7: Environmental testing*. NSO.
29. NATO Standardization Office. (2017). *STANAG 4704 Ed. 2: NATO requirements for calibration support of test and measurement equipment*. NSO.
30. Sutejo, F. (2024). Ballistics study of mortar weapon technology. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 45(2), 703–710.



This is an open access journal and all published articles are licensed under a Creative Commons «Attribution» 4.0.