

*Векленко Ю.А., Бардін О.А., Рудник М.В. Державний науково-дослідний інститут
випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ МІЦНОСТІ МІНОМЕТНИХ СТВОЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КРЕШЕРНИХ ПРИЛАДІВ

У статті розглянуто теоретичні аспекти та практичні питання випробування мінометних стволів за допомогою крешерних приладів, шляхом поступового збільшення тиску в каналі ствола, для визначення гранично допустимих навантажень на ствол міномета.

Ключові слова: *випробування мінометів, крешерні прилади, пружні та пластичні деформації, запас міцності, безпека розрахунку міномету.*

Для придання міні необхідної швидкості, в каналі ствола створюється високий тиск порохових газів, які намагаються не тільки перемістити міну, а й зруйнувати ствол. Щоб ствол витримував такий тиск, не руйнувався протягом всього терміну служби, він повинен бути достатньо міцним. Мірою міцності є межа пружного опору, при якій максимальний тиск порохових газів в каналі ствола, не утворює напружень, що викликають залишкові деформації в металі. Запас міцності характеризується коефіцієнтом, рівним відношенню межі пружного опору ствола, тобто тиску в стволі, при якому найбільші напруження в металі рівні межі пружності металу ствола, до найбільшого балістичного тиску в стволі, який утворюється при стрільбі на найбільшому заряді та відповідає нормальним умовам.

Також, при розрахунку мінометних стволів необхідно враховувати порівняно малу товщину стінок ствола, велику скорострільність, яка супроводжується значним нагрівом ствола (до 300° – 400° С). Отже, запас міцності повинен бути збільшеним, бажано щоб величина коефіцієнту запасу міцності ствола була не менше 2,0. Коефіцієнт запасу міцності відображає здатність конструкції витримувати прикладені до неї навантаження вищі чим розраховані. Наявність запасу міцності забезпечує надійність конструкції. Відповідно, визначення максимального тиску в каналі ствола до утворення залишкових деформацій є найважливішим завданням випробувань мінометних систем та безпеки його розрахунку.

Для визначення межі пружного опору ствола пропонується використання найбільш доступного крешерного способу, що визначає момент появи залишкових деформацій в металі. Новизною даної методики є спосіб визначення максимального тиску порохових газів в каналі мінометного ствола за допомогою крешерних приладів, який забезпечує безпечно та точно вимірювання (контроль) тиску порохових газів без зміни конструкції дослідного зразку.

Державним науково-дослідним інститутом випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки проведено та прийнято участь у випробуваннях мінометів калібру 60, 82 та 120 мм. Одним з важливих питань, в ході випробувань мінометів різної конструкції, було обґрунтування методики визначення максимального тиску порохових газів, при якому пружні деформації мінометного ствола починають переходити у незворотні пластичні деформації.

Обґрунтуванню доцільної методики випробування мінометних стволів на гранично допустимий тиск порохових газів було присвячене вказане наукове дослідження.

Розглядаючи загальні тенденції розвитку мінометних систем і методів їх випробувань необхідно відзначити тенденцію поширення застосування мінометів калібру 60 мм з подовженим стволом замість мінометів калібру 81/82мм [1]. Наприклад, французький міномет конструкції Thomson Brandt, з довжиною ствола 1350 мм (замість звичайних 650-720 мм), який має дальність стрільби до 5 км, при масі виробу близько 23 кг.

Ця тенденція, при її реалізації українською промисловістю, висуває підвищені вимоги до міцності стволів і ваги комплексу в цілому.

Окремими підприємствами військово-промислового комплексу було розроблено полегшений 82 міліметровий міномет, головною особливістю якого є використання титанових сплавів [2].

Крім того, для потреб Збройних Сил України були закуплені у іноземних держав міномети калібру 60 мм, які незалежно від заявлених виробником характеристик, з метою підтвердження міцності стволів, потребують їх перевірки для допуску до експлуатації в Збройних Силах України.

Методи вимірювання тиску в стволах.

Для реєстрації сили тиску порохових газів застосовуються як статичні методи (перетворення величини тиску в деформацію), так і динамічні методи (перетворення тиску в кінематичні параметри - прискорення, швидкість і т.п.) [3].

Динамічні методи не розглядаються у зв'язку зі складнощами реєстрації швидкодіючих і високоенергетичних процесів.

Статичні методи включають: метод пластичних деформацій, метод пружних деформацій, п'єзоелектричний, тензометричний і т.і.

Заснований на використанні крешерних приладів метод безповоротних пластичних деформацій є найбільш доступним та поширеним серед статистичних методів. Перехід від деформації крешера до тиску може бути здійснений трьома основними способами:

- 1) безпосередньо за таражною таблицею;
- 2) за таражною таблицею з одним попередніми обтисненням крешера;
- 3) за двома попередніми обтисненням крешера.

Для визначення тиску порохових газів з використанням таражної таблиці. Вхідним значенням для таражної таблиці є різниця між початковою – h_0 і кінцевої h висотою крешера. Тоді: $\varepsilon = h_0 - h$. За величиною обтиснення крешера в таражній таблиці знаходять тиск p (кг/см²). Попереднє обтиснення крешера проводиться для зменшення помилки при вимірюванні тиску з таким розрахунком, щоб тиск обтиснення був на 9,8-19,6 МПа менший очікуваного, для тиску менше 98,0 МПа та на 19,6-39,2 МПа менший очікуваного при вимірюванні тисків понад 98,0 МПа.

Практикою встановлено, що попередньо обтисненні крешери показують на 5-6% точніше тиск, ніж не обтиснуті.

Спосіб двох попереднє обтиснених крешерів дає можливість при вимірюванні тиску обійтися без таражної таблиці за рахунок того, що висоту крешера замірюють до і після кожного обтискування. Кожному тиску попереднього обтискування будуть відповідати певні висоти крешера h_1 і h_2 . Вважаючи, що крешерний стовпчик працює в межах лінійної ділянки характеристики опору, тобто величина зменшення висоти крешера прямо пропорційна навантаженню, можна визначити:

$$\frac{p_2 - p_1}{h_1 - h_2} = \frac{p - p_2}{h_2 - h'} \quad (1)$$

де: p – вимірюваний тиск;

h – відповідна йому висота крешера,

тоді:

$$p = p_2 + (h_2 - h) \frac{p_2 - p_1}{h_1 - h_2} = p_2 + k(h_2 - h), \quad (2)$$

де $k = \frac{p_2 - p_1}{h_1 - h_2}$ – характеризує приріст тиску, що припадає на 0,01 мм стиснення крешера.

Прилади вимірювання тиску в стволах. Розглянутий вище крешерний метод був запропонований Нобелем ще в 1860-68 гг [4]. Цей метод і сьогодні зберігає свою актуальність.

Вкладні крешерні прилади (рис. 1) використовуються для визначення найбільшого тиску в каналі ствола гармат та мінометів.

Щоб не вплинути на динаміку процесу пострілу об'єм крешерного приладу не повинен перевищувати 2% від об'єму зарядної камери. На корпус вкладних крешерних приладів накатується мідна “сорочка”, що оберігає нарізи гарматного ствола від пошкодження. Такі крешерні прилади називаються лейнірованими.

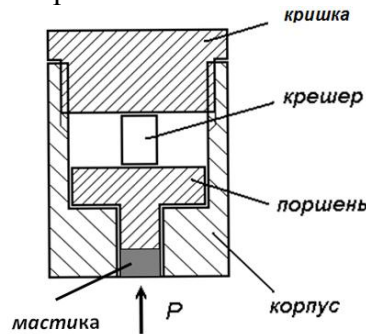


Рис. 1. Устрій і схема крешерного приладу:

1 - корпус; 2 - поршень; 3 - крешер; 4 - кришка; 5 - крешерна мастика

Номенклатура крешерних стовпчиків, які виготовляються з високоякісної електролітичної міді, регламентується ГОСТ 3779-55 і включає шість типів циліндричних крешерів з розмірами 3x4,9 см; 4x6,5 см; 5x8,1 см; 6x9,8 см; 8x13 см; 10x15 см. За допомогою циліндричних крешерів можна вимірювати тиск, починаючи з 19,6...58,8 МПа. Для вимірювання малих тисків застосовують конічні і сферичні крешери.

Для визначення тиску по висоті деформованого крешера до кожної партії крешерів додаються таражні таблиці.

Сучасні крешерні прилади та крешери (вкладиші) до них наведені на рисунку 2.



Рис. 2 – Крешерні прилади та крешера до них

У конкретному випадку для того, щоб у ході випробувань, зафіксувати максимально допустимий тиск порохових газів, були застосовані крешерні прилади в середину яких вставлені відтарировані циліндричні стовпчики за ГОСТ 3779-55. Крешерні стовпчики було попередньо обтиснено, а значення тиску в каналі ствола визначалося за величиною його деформації (за таражною таблицею).

Для монтажу крешерних приладів на стабілізаторі інертної міни, у останньої видалено два симетрично розмішених пера (рис.3). У створеному просторі розмістили два циліндричні крешерні прилади, які закріплювалися на хвостовику за допомогою бавовняної нитки (рис.4).



Рис. 3 – Видалення двох пір'їв з хвостовика міни

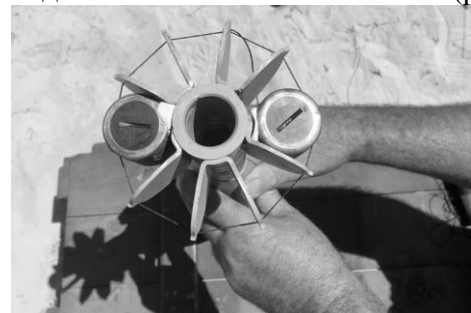


Рис. 4 – Зафіксовані крешерні прилади на хвостовику міни

На трубку стабілізатора навішувалися попередньо розрахована кількість порохового заряду (рис. 5).

При заряджанні міномета інертна міна встановлювалася на дульний зріз ствола та утримувалася на ньому за допомогою вилки (рис.6). Після дистанційного витягування вилки, інертна міна, під дією сили тяжіння, разом з крешерними приладами опускалася на дно казенника. Так як, крешерні прилади можуть вільно переміщуватися в межах 10-20 мм вниз або вгору, то при опущеній інертній міні в ствол, крешерні прилади щільно прилягали до дна казенника.



Рис. 5 – Розміщення порохових зарядів на трубці стабілізатора



Рис. 6 – Встановлення міни на вилку

Під час пострілу порохові гази, проникаючи через отвір у циліндричному приладі, тиснули на крешерний стовпчик, який під їх дією деформувався. Після пострілу крешерні прилади залишалися на дні каналу ствола та вилучалися з нього шляхом розрядження міномета (рис.7).



Рис. 7 – Крешерні прилади після здійснення пострілу

Фактична величина тиску порохових газів заданої маси визначалася за даними таражної таблиці, яка розраховувалася завчасно. Для отримання значення максимального тиску при заданій масі порохового заряду використовувалося одночасно два крешерні прилади.

У ході дослідження проводилася перевірка ствола міномета калібру 120-мм на міцність та безпеку застосування за призначенням. Перевірка ствола на міцність проводилася на новому стволі з інвентарної опорної плити та двонога-лафету. Стрільба

проводилася, починаючи з шостого заряду, у подальшому далекобійними зарядами з додаванням розрахованої кількості маси порохового заряду.

Результати обміру крешерних стовпчиків наведено в типовій таблиці 1.

Таблиця 1

Результати визначення максимального тиску в каналі ствола
120-мм міномету після пострілу за допомогою крешерного приладу

Номер крешерного приладу	Тип крешерного стовпчика	Висота стовпчика після пострілу, мм	Тиск після пострілу, МПа	Середнє значення тиску, МПа
1120	6x9,8	5,48	156,3	155,9
1140	6x9,8	5,50	155,5	

Було доведено, що дослідний зразок мінометного ствола, при поступовому збільшенні маси заряду, витривав збільшення тиску порохових газів у такій величині та послідовності: 117,6, 140, 166 та 219,6 МПа. Отриманий, у ході випробувань, коефіцієнт запасу міцності мінометного ствола становив – 1,9, що підтверджує загальні вимоги до стволів по двократному запасу по всій його довжині (максимальний тиск в каналі ствола 219,6 МПа, балістичний тиск при стрільбі на далекобійному заряді 117,6 МПа).

Висновки

Отримані дані дають можливість відстежити лінійну залежність величини приросту тиску (Δp) від маси порохового заряду, що створює відповідний тиск (P) (тиск, який утворюється при згоранні штатного далекобійного та додаткової маси пороху). Така залежність дає можливість розрахувати масу порохового заряду для контрольних зарядів, які можна застосовувати для перевірки конструктивної міцності мінометів та мінометних пострілів при проведенні випробувань (в т.ч. ремонту) та серійному виробництві.

У результаті проведеного експериментального дослідження з використанням крешерних приладів, було практично підтверджено методику визначення максимального тиску та оптимального обсягу порохового заряду, який не утворює напружень, що викликають залишкові деформації в металі.

Завдяки даній методиці визначення максимального тиску в середині ствола з подальшим розрахунком його коефіцієнта запасу міцності, до утворення залишкових деформацій, досягається одне з найважливіших завдань випробувань мінометних систем та забезпечення безпеки його обслуги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Замена традиционных калибров миномётов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://scharapow livejournal.com](https://scharapow.livejournal.com).
2. 82 миллиметровый облегченный миномет. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.uos.ua/produksiya/vooruzhenie-i-boepripasi/32-82-millimetroviy-oblegchennyi-minomet>.
3. Основные методы измерения давления. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lektsii.org/14-54925.html>.
4. Приборы для измерения давления пороховых газов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview>.
5. Жуков И.И. Артиллерийское вооружение. Основы устройства и проектирования / И.И. Жуков. – М.: Машиностроение, 1975. – 420 с.
6. Основы устройства и конструкций орудий и боеприпасов наземной артиллерии. А.С. Ключков – М.: Воениздат, 1976. – 459 с.
7. Орлов Б.В. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий. / Б.В. Орлов. – М.: Машиностроение, 1976. – 430 с.

Векленко Юрій Анатолійович

науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1658-0102>
0462-67-94-29

Бардін Олександр Олексійович

кандидат геологічних наук, провідний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0726-7694>
0462-67-94-29

Рудник Михайло Володимирович

старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9454-7116>
0462-67-94-29

Yuri Veklenko

Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1658-0102>
0462-67-94-29

Alexander Bardin

Candidate of Geological Sciences, Lead Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0726-7694>
0462-67-94-29

Mikhailo Rudnik

Senior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9454-7116>
0462-67-94-29

**DETERMINATION OF THE STRENGTH MARGIN FACTOR OF MORTAR BARRELS
BY MEANS OF CRUSHER GAUGES**

Y. Veklenko, A. Bardin, M. Rudnik

The article deals with theoretical aspects and practical issues of mortar launcher barrels testing with a help of crusher gauges by gradually increasing the pressure in the bore, to determine the maximum permissible loads on the mortar barrel. The technique for determining the maximum pressure and the optimal volume of the propellant charge, which does not form stresses that cause residual deformations in the metal, has been practically confirmed.

To give the mines the required speed, a high pressure of powder gases is created in the bore, which try not only to move the mine, but also to destroy the barrel. In order for the barrel to withstand such pressure, it does not collapse throughout its life, it must be sufficiently strong. The measure of strength is the limit of elastic resistance, at which the maximum pressure of the powder gases in the bore does not form stresses that cause residual deformation in the metal. The strength margin is characterized by a coefficient equal to the ratio of the elastic resistance of the barrel, in other words the pressure in the barrel at which the highest stresses in the metal are equal to the elastic limit of the barrel metal, to the highest ballistic pressure in the barrel, which is formed when firing at the highest charge and meets normal conditions.

Also, when calculating mortar barrels, it is necessary to take into account the relatively small thickness of the barrel walls, the high rate of fire, which is accompanied by considerable heating of the barrel (up to 300 °C - 400 °C). It follows that the strength margin should be increased, preferably, the value of the strength margin factor of the barrel must be not less than 2.0. The strength margin factor reflects the design's ability to withstand the loads applied to it which are higher than calculated. The availability of strength margin ensures the reliability of the design. Accordingly, determining the maximum pressure in the bore before the formation of residual deformations is the most important task of testing mortar launcher systems and the safety of its calculation.

To determine the limit of elastic resistance of the barrel, it is proposed to use the most affordable crusher method, which determines the moment of occurrence of residual deformations in the metal. The novelty of this technique is a method of determining the maximum pressure of the powder gases in the bore of a mortar barrel using crusher gauges, which provides a safe and accurate measurement (control) of the pressure of the powder gases without changing the design of the prototype.

Keywords: mortar test, crashing devices, elastic and plastic deformations, strength margin, safety of mortar calculation.