

Рибіцький І. В., Войтенко С. С., Карпаш О. М., Запека О. В.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ МЕТАЛІЧНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Анотація. Подано технічні та експлуатаційні аспекти контролю стану металічних об'єктів складної форми, таких як стволи артилерійських систем в умовах інтенсивного використання під час бойових дій. Розглянуто методи неруйнівного контролю. Обґрунтовано доцільність застосування саме ультразвукового методу діагностики дефектів артилерійських стволів таких як знос, овальність, здуття, втомні тріщини, що дозволить підвищити надійності, точності та безпеку експлуатації артилерійських систем.

Ключові слова: вимірювання; дефект; неруйнівний контроль; стволи артилерійських систем; ультразвуковий метод.

Abstract. The technical and operational aspects of monitoring the condition of complex-shaped metal objects, such as artillery system barrels under conditions of intensive use during combat operations, are presented. Methods of non-destructive testing are considered. The feasibility of using the ultrasonic method for diagnosing defects in artillery barrels, such as wear, ovality, swelling, fatigue cracks, is substantiated, which will allow increasing the reliability, accuracy and safety of artillery systems operation.

Keywords: measurement; defect; non-destructive testing; artillery system barrels; ultrasonic method.

Артилерія з самого початку російсько-української війни стала ключовим важелем, який формує результат операцій на тактичному та оперативному рівнях. Саме інтенсивна масована та точкова артилерійська вогнева підтримка визначила можливості наших сил утримувати та відвоювати рубежі. Інтенсивність застосування артилерії є надзвичайно великою, що призводить до пришвидшеного зносу особливо стволів. Окрім того різноманітність артилерійських систем, від радянських до сучасних вітчизняних, а також іноземних, створює постійний дефіцит запасних частин і майстерень з ремонту на передовій, що веде до нехтування регламентними інтервалами з технічного обслуговування. Зношення стволів призводить до падіння точності, збільшення розсіювання, збільшення витрати снарядів і до ризику руйнування ствола та смертельної небезпеки для артрозрахунків.

У процесі експлуатації артилерійських стволів за умов низьких температур виникає небезпека їх руйнування чи окремих деталей та механізмів, яка спричинена підвищенням крихкості матеріалів. Висока температура, що виникає в наслідок інтенсивної стрільби, викликає перегрів каналу та накопичення напружень і значно знижує ресурс самого ствола. Досвід ведення бойових дій та аналіз публікацій показують, що такі проблеми є характерними не тільки для українських артсистем, але і особливо для артсистем європейського виробництва [1].

Також слід згадати і дефекти, що виникають на стадії виготовлення артсистем. Часто через інтенсивність виробництва, недосконалість систем вхідного контролю, спрощення чи скорочення операцій виробничого та післяопераційного контролю, зношеність виробничого обладнання, дефекти можуть бути не вчасно виявлені. В результаті поєднання факторів експлуатаційних впливів та виробничих дефектів, артсистеми виходять з ладу ще на початку експлуатації. Тому питання надійного та швидкого контролю технічного стану артилерійських систем на всіх етапах їх життєвого циклу є надзвичайно актуальним.

На даний час найбільш перспективними методами діагностування є неруйнівні методи [2]. Вони в залежності від методик їх застосування, дозволяють отримати ті чи інші інформативні параметри, наприклад швидкість поширення випромінювання, величина його затухання, питомий електричний опір, коерцитивна сила та інші.

Своєчасний контроль та правильне визначення фактичних геометричних розмірів (товщини, величини зношення, овальності) стволів артилерійських систем є однією з вимог забезпечення їх безпечної експлуатації, а прогнозування їх залишкового ресурсу має здійснюватися за значенням зношення, оскільки саме воно входить практично у всі розрахункові

вирази для оцінки міцнісних характеристик. Окрім того, відповідно до Інструкції про порядок категорювання ракетно-артилерійського озброєння, одним із показників за яким здійснюється переведення стволів в 5 категорію це є певне значення величини діаметрального зносу, наявність здуття (порушення форми), а також інші дефекти.

Рішення задачі визначення величини зношення стволів артилерійських систем може бути знайдене шляхом використання різноманітних методів, які базуються на взаємодії з об'єктом контролю магнітного поля, електричного струму, рентгенівського чи ядерного проникаючого випромінювання, а також за допомогою високочастотних акустичних (ультразвукових) коливань [3]. Для методів неруйнівного контролю, такі об'єкти як стволи гармат, є об'єктами складної форми. Пустотіла циліндрична поверхня з нерівномірною товщиною по всій довжині та наявністю нарізів з внутрішньої сторони, кріпильні елементи, інше, все це створює певні труднощі та ускладнює розшифрування результатів. Тому варто провести аналіз існуючих неруйнівних методів та методик контролю товщини та геометричних розмірів з метою вибору найбільш оптимального.

Основними перевагами магнітного методу є безконтактність вимірювань, можливість контролю тонких металевих листів, а також виконання двосторонніх вимірювань зносу навіть за умови доступу лише з одного боку деталі. Водночас метод має низку недоліків, зокрема вплив неоднорідності фізико-хімічних властивостей металу, зазору між електромагнітом і поверхнею, стану поверхні, а також зовнішні електромагнітні поля.

До переваг методу радіохвильового вимірювання належать висока швидкість і точність вимірювань, стабільність результатів незалежно від фізико-механічних властивостей металу, а також можливість оперативного контролю під час виробничого процесу. Основними недоліками є потреба у двосторонньому доступі до поверхні дослідження та складність обробки й інтерпретації даних, не можливість отримати інформацію про наявність внутрішніх дефектів.

До переваг радіаційного методу належать висока точність і швидкість вимірювань, незалежність результатів від фізико-механічних властивостей матеріалу та стану його поверхні, можливість контролю елементів зі складною геометрією, а також проведення безперервного контролю під час виробничого процесу. Основними недоліками є потреба періодичного калібрування приладів за допомогою еталонів, вимоги до кваліфікації персоналу та потенційна шкідливість іонізуючого випромінювання.

Найбільш поширеним на даний час є акустичний луно-імпульсний метод неруйнівного контролю товщини та дефектоскопії. Він володіє рядом переваг, зокрема: висока чутливість; значна проникна здатність; можливість визначення координат і розмірів дефектів; миттєве відображення результатів контролю; можливість контролю за умови одностороннього доступу до виробу; простота і висока продуктивність контролю; безпечність роботи оператора та обслуговуючого персоналу. Окрім того, метод дає можливість контролювати геометричні розміри виробів і визначати фізико-механічні властивості й структуру. До недоліків акустичного методу можна віднести: необхідність розробляти спеціальні методики контролю під різні вироби; порівняно висока чисто-та оброблення поверхні підконтрольних виробів; наявність мертвих зон контролю; відносна складність знаходження, розмірів та характеру дефектів; застосування контактної рідини для забезпечення акустичного зв'язку між п'єзоперетворювачами і контрольованими виробами [3].

В ході застосування ультразвукових методів неруйнівного контролю такі об'єкти як стволи артилерійських систем, не дивлячись на відносну свою геометричну простоту, створюють подекуди суттєві труднощі через складність форми. Криві поверхні виробів виступають в ролі лінзи, збираючої або розсіювальної. В таких випадках умови розповсюдження ультразвукових коливань, які заломлюються при введенні у виріб, відбиваються від його поверхонь (нижньої чи бокових), приймаються п'єзоелектричним перетворювачем у вигляді ехо-сигналів, будуть різними для виробів різної форми.

Відповідно, методика контролю виробів циліндричної форми вимагає суттєвого, порівняно з методикою контролю виробів простої форми, ускладнення. З метою підвищення надійності контролю необхідно використовувати різним способом орієнтовані ультразвукові перетворювачі суміщеного типу. Для підвищення швидкості контролю та в деякій мірі полегшення розшифрування сигналів у процесі контролю необхідно здійснювати обертання виробу з одночасним переміщенням перетворювачів вздовж твірної циліндра. З метою вирівнювання чутливості по товщині виробу необхідна система часового регулювання чутливості зі значно ширшим діапазоном регулювання, ніж для контролю виробів з плоскими поверхнями. Всі ці задачі окремо в достатній мірі на даний час реалізовані методично та приладово і сам метод ультразвукового контролю дуже добре розвинутий. Складність полягає в необхідності їх

комплексного об'єднання в одну систему контролю. Проте проведений аналіз існуючих методів контролю показав, що незважаючи на певну трудність в розробленні самих методів, методик та технічних засобів, ультразвуковий метод контролю таких об'єктів як стволи артилерійських систем є найоптимальнішим. Він дозволить проводити вимірювання не тільки товщини (в тому числі і залишкової), овальності та здуття, але і дасть можливість одночасно проводити дефектоскопічний контроль для виявлення різного роду тріщин, пор та неметалічних включень.

Список використаних джерел:

1. Таранець С.В., Филипенко А.О. Застосування артилерії силами оборони України під час російсько-української війни: оцінки, тенденції, використання міжнародної військово-технічної допомоги. *Military strategy and technology*. № 1(1) / 2025. с. 99-110.
2. EN 1330-2:2001. Non destructive testing - Terminology - Part 2: "Terms common to the non-destructive testing methods".
3. Карпаш М. О., Карпаш О. М., Ващишак І. Р., Доценко Є. Р., Миндюк В. Д., Рибіцький І. В., Яворський А. В. Технічна діагностика обладнання та конструкцій : навч. посібник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. 413 с.

Рибіцький Ігор Володимирович – доктор технічних наук, професор, викладач кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: rybitsky@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3596-3918>.

Войтенко Сергій Станіславович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: sergej.010679@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4134-5964>

Карпаш Олег Михайлович – доктор технічних наук, професор, викладач кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: oleg.karpash49@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0001-4217-2666>.

Запека Віталій Юрійович – старший викладач кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: vitaliyzapeka@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3143-6600>.

Ihor Rybitskyi – Doctor of Technical Sciences, Professor, Lecturer of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: rybitsky@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3596-3918>.

Serhii Voitenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: sergej.010679@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4134-5964>

Oleh Karpash – Doctor of Technical Sciences, Professor, Lecturer of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: oleg.karpash49@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0001-4217-2666>.

Vitalii Zapeka – Senior Lecturer of Metrology and Standardization Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: vitaliyzapeka@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3143-6600>.