

INFLUENCE OF CORROSION-ACTIVE NON-METALLIC INCLUSIONS ON THE ACCELERATED DESTRUCTION OF THE INTERNAL SURFACE OF THE Oplot-M TANK BARREL

M. Khoma, V. Vynar, R. Yurkevych, M. Platonov, P. Bolkot, N. Ratska, T. Gural, B. Datsko, V. Ivashkiv

The metallographic features of operational damage to the inner surface of the barrel of the Oplot-M tank were analyzed. It was established that with the movement from the chamber to the cut of the barrel, the number and size of damage decreases, which is related to the distribution of pressures of working gases, temperature and aggressiveness of the environment. It is shown that the damage is placed on the inner surface chaotically and the nature of their destruction is corrosive and corrosive-mechanical in origin. Local analysis of their chemical composition revealed a high oxygen content, which indicates the formation of oxide-hydroxide compounds. The surface layers of the barrel were studied and it was established that a "white" layer with a thickness of ~50 μm and a microhardness of 930 kg/mm^2 is formed on the surface, the structure of the inner layer of the steel of the barrel is troostite (HW 225 kg/mm^2).

The effect of corrosion-active non-metallic inclusions (KANV) on the destruction of the surface of a barrel made of steel 38KH3MFA was studied. It is shown that more sensitive to changes in the technical state of steel due to degradation are studies of corrosion resistance, microelectrochemical heterogeneity and impact toughness of steel. It was established that the presence of KANV in the steel structure leads to an increase in corrosion currents by $\square 4$ times and microelectrochemical heterogeneity, in particular, non-periodic potential peaks of 50-70 and 200-230 mV. Due to the influence of tap water on the surface of the steel, corrosion ulcers of a rounded shape and a size of 50-80 μm were recorded, which contribute to the local corrosion of the steel. The analysis of steel fractures revealed that inclusions of a round shape with a size of 3-5 μm contain impurities of harmful elements Al, Mg, F, which accelerate local corrosion on the surface of the steel of the tank barrel. It is shown that the study of fractures, and not of samples, provides an opportunity to estimate not only the size and density of inclusions, but also their chemical composition.

Keywords: corrosive-active non-metallic inclusions, steel, tank, gun barrel, strength characteristics, impact toughness, local damage, erosion, chemical analysis of inclusions.

УДК 623.4(05)

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.29.2023.90-101>

Ю.В. Шабатура, О.М. Поповченко

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

Article history: Received 12 September 2023; Revised 18 September 2023; Accepted 30 September 2023

СУЧАСНІ МЕТОДИ І ЗАСОБИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ОЗБРОЄННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ

У статті виконано аналіз доступних вітчизняних та зарубіжних досліджень, присвячених розвитку та вдосконаленню методів діагностування технічного стану артилерійського озброєння. Розглянуто існуючі пристрої для забезпечення вимірювання, огляду, оцінки та контролю його технічного стану. Проведено систематизацію, узагальнення та доповнення відомих методів та засобів. Визначено основні можливості, переваги та недоліки, відомих методів, а також перспективні напрями для проведення подальшого дослідження.

Встановлено, що переважна більшість проведених досліджень спрямована виключно на діагностування технічного стану ствола гармати. У проаналізованих роботах відсутній розгляд можливостей застосування використаних методів для комплексного оцінювання технічного стану артилерійського озброєння в цілому, що дозволяє поставити нову та актуальну науково-технічну задачу.

Ключові слова: артилерійське озброєння, визначення технічного стану, технічний стан ствола, методи технічної діагностики, засоби діагностування.

Вступ

Аналіз повномасштабних бойових дій на сході України свідчить, що сучасні стратегії ведення бойових дій все частіше базуються на ураженні живої сили та техніки противника з максимальної віддалі або закритих вогневих позицій. Це значно збільшило різноманітність вогневих задач для артилерійського озброєння та інтенсивність їх виконання, що в свою

чергу покладає на нього максимальну відповідальність та вимагає підтримання артилерійського озброєння та систем, які забезпечують його правильну експлуатацію, у справному та готовому до застосування стані, а також недопущення раптових поломок та відмов під час виконання бойових завдань, що може вкрай негативно вплинути на кінцевий результат проведення бойових операцій.

Постановка проблеми

Враховуючи вплив технічного стану на ефективність та безпеку бойового застосування артилерійського озброєння, виникає потреба у вдосконаленні методів та засобів діагностування його технічного стану. Розробка нових підходів може базуватися на інтегруванні можливостей сучасних технологій в існуючі практики контролю або дослідженні нових прогресивних методів контролю. Для прикладу, кращі зразки озброєння сьогодні обов'язково мають в своєму складі різноманітні автоматизовані системи управління технічним станом або бортові інформаційно-вимірювальні комплекси, які використовують можливості машинного навчання і не тільки. Такі системи здатні проводити вимірювання швидше та з більшою точністю, фіксувати найменші відхилення в технічному стані, визначати наявний ресурс та прогнозувати його залишок до досягнення критичного показника.

Формулювання мети статті

Метою даної статті є проведення аналізу доступних інформаційних джерел щодо відомих методів і засобів діагностування технічного стану артилерійського озброєння, вивчення їх можливостей, основних переваг та недоліків, дослідження засобів, що забезпечують отримання значень контрольованих параметрів, способів їх поєднання в різних комбінаціях та окреслення перспективних напрямів їх розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз опублікованих в Україні та за кордоном робіт [1-28], щодо діагностування технічного стану артилерійського озброєння показує, що в цьому напрямі в усьому світі ведеться багато наукових досліджень та існує чимало досягнень з даної теми.

Так, у роботі [1] проведено детальний аналіз існуючих методів і засобів діагностування та максимально повно перераховано відомі сучасні підходи до визначення технічного стану артилерійських стволів, серед яких можна виділити наступні.

Оцінка зносу ствола з використанням емпіричних підходів.

Методики вимірювання зносу каналу ствола з використанням спеціальних технічних засобів:

бороскоп;

пуловерні, зіркоподібні, циферблатні калібри;

оптичні (лазерні) системи картографування внутрішньої поверхні каналу ствола;

оцінка зносу за допомогою алмазного індендера системи картографування;

оцінка зносу ствола за допомогою використання ультразвукових хвиль.

Прогностичні методи.

Передбачають прогнозування та управління працездатністю на основі підходів, які використовують

ймовірнісні моделі. Потрібно зазначити, що вони потребують великого набору бази даних, часто будуються з використання машинного навчання та можливостей штучного інтелекту. До них відносять:

Методи прогнозування залишкового ресурсу каналу ствола:

методи на основі вимірювання розмірів зарядної камори та діаметра каналу ствола;

методи на основі аналізу початкової швидкості снаряда;

метод моніторингу технічного стану на основі аналізу зовнішніх деформацій (в залежності від кількості пострілів).

Нетрадиційні методи. В цю групу включені методи, у яких використовуються нетипові для вирішення даної задачі підходи:

базуються на проведенні хімічного аналізу металу ствола;

аналіз термоерозійного руйнування каналу ствола.

Частково, перераховані вище методи та засоби описано в наступних працях:

в роботах [2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14] розглядаються застосування засобів вимірювання початкової швидкості снаряда: балістичні радіолокаційні станції, артилерійські балістичні станції (далі – АБС), радары початкової швидкості, доплерівські радары;

в роботі [8] проведено дослідження вимірювання початкової швидкості снаряда магнітострикційною цифровою системою;

в джерелах [3, 9, 10, 11] проаналізовано використання оптичної труби, ендоскопа, відеоскопа;

в публікаціях [9, 12] розглянуто картографування внутрішньої поверхні каналу ствола;

в працях [2, 3, 4, 5, 7, 12, 13, 15] розглянуті вимірювання каналу ствола і довжини зарядної камори. В [12] даний підхід доповнено використанням контрольних дисків;

розрахунковий метод розглядається в роботах [1, 3, 4, 7, 16];

технологія прогнозування несправностей та управління працездатністю розглянута в роботах [14, 17].

До емпіричних підходів визначення технічного стану відносять:

оцінку ступеню зносу внутрішньої частини ствола за силуетом пробоїни в мішені, яка виникає під час пострілу та характеризує положення снаряда на траєкторії польоту [3, 4];

розрахунок зносу каналу ствола за величиною витрати закачаної у зарядну камору ствола рідини (газу), що витікає через кільцевий зазор між циліндром і поверхнею каналу ствола. У цьому підході використовується так званий "Рідинний (газовий) вимірювач" [2, 12];

визначення технічного стану за результатами аналізу акустичних полів пострілу [3, 4, 18, 19, 20];

проведення дослідження вібраційний коливань, що виникають під час пострілу [21, 22, 23, 24];

вимірювання фізичної деформації (згинання) ствола [2];

контроль стану нарізів та внутрішньої поверхні нарізної гармати за допомогою зліпків;
інші засоби діагностування [10].

Викладення основного матеріалу

В доступних інформаційних джерелах розглядаються різні підходи до проведення діагностування технічного стану артилерійського озброєння.

На підставі аналізу доступних матеріалів ми дійшли до висновку, що переважна більшість існуючих методів діагностування базується на використанні інформативних даних, які отримуються за допомогою допоміжних засобів вимірювання, і лише деякі підходи можна вважати суто теоретичними. Послідовно розглянемо кожен з них.

Розрахункові (теоретичні) методи

Дані методи детально розглянуті в джерелах [1, 3, 4, 7, 16]. Вони ґрунтуються на розрахунку залишкового технічного ресурсу ствола за статистичним моделям та історією бойового застосування конкретної гармати.

Відомо, що технічний ресурс ствола артилерійського озброєння закладається до технічних характеристик зразка на етапі його розробки і проектування та визначається, як правило, через кількість пострілів (циклів навантаження). Відповідно правильний облік витраченого ресурсу дозволяє розрахувати його залишок.

Різниця граничного ресурсу $T_{гр}$ та облікованої кількості здійснених пострілів $T_{об}$ відображає залишковий ресурс гармати $T_з$

$$T_з = T_{гр} - T_{об} \quad (1)$$

Крім того, на практиці також може враховуватися тип снаряда (гладкоствольні гармати) або тип заряду (нарізні гармати). Такий метод є досить простим, але не достатньо точним. Він не дозволяє чітко визначити технічний стан гармати в конкретний момент. Також великий вплив на кінцевий результат оцінювання має правильність ведення обліку настрілу, що в умовах інтенсивних бойових дій є досить ускладненим.

Існують і більш складні методи проведення розрахунків. Для прикладу, в роботі [7] виконується аналіз характеристик балістичних елементів пострілу, а в [16] наводяться приклади найбільш відомих теоретичних підходів до визначення стану гармати. До них відносяться формули Б.В. Орлова, Юстрова, Линте, Габо, Габо-Слухоцкого та інші. Так, формула Б.В. Орлова дозволяє встановити узагальнену залежність допустимої кількості пострілів (N) ствольної системи та має вигляд:

$$N = \frac{K_T}{C_q^x v_o^y d^z}, \quad (2)$$

де K_T – термомеханічний коефіцієнт, що визначається в залежності від калорійності пороху і механічних характеристик сталі ствола гармати;

C_q – відносна вага артилерійського снаряда;

v_o – початкова швидкість снаряда;

x, y, z – емпіричні коефіцієнти.

Крім того, Юстровим (Justrow) була запропонована формула для визначення кількості пострілів, при якому значення v_o знижується не більше ніж на 10%, а довжина зарядної камери збільшується на величину $0,0015\lambda$, при цьому темп стрільби гармати не повинен перевищувати $441d^2$ пострілів за хвилину

$$N = \frac{xy C_q v_o^2 \delta \varepsilon}{d \lambda \mu k_1}, \quad (3)$$

де x, y – спеціальні функції f_1, f_2 ;

$x = f_1(P_{max}, R, k, Q_{ож});$

$y = f_2(d, n);$

n – темп стрільби;

C_q – відносна вага снаряда;

v_o – початкова швидкість снаряда, м/с;

δ – тимчасове протистояння матеріалу ствола, кг/см²;

ε – відносна деформація стінок ствола, %;

d – калібр гармати, см;

λ – довжина ствола в калібрах, відн. од.;

μ – коефіцієнт тертя ведучого пояска (для мідних поясків 0,2);

k_1 – тимчасовий опір стиснення ведучого пояска.

Також, максимальний настріл (живучість) ствола можна оцінити за формулою, яка була запропонована Артилерійським науково-дослідним морським інститутом, та має вигляд

$$N = \frac{6d^2}{lw} \left[\frac{1}{2250} \sigma_p - 4 \left(\frac{1}{2250} p_{max} - 1 \right) \right], \quad (4)$$

де N – число пострілів до падіння початкової швидкості снаряда на 5%;

d – калібр гармати, мм;

w – вага заряду, кг;

σ_p – межа міцності металу труби, кг/см²;

l – ширина ведучого пояска снаряда, мм;

P_{max} – максимальний тиск порохових газів у каналі ствола, кгс/см².

Ці методи є досить складними для використання, а їхні результати залишаються недостатньо обґрунтованими. Про це свідчать дослідження, проведені в роботі [15], які показують, що реальний стан ствола може значною мірою відрізнятись від розрахункового.

Визначення технічного стану за силуетом пробоїни від снаряда в мішені. Даний підхід розглянутий в роботах [3, 4]. Це досить простий спосіб, а тому він досить часто використовувався у військових частинах. Його суть полягає у здійсненні пострілу за

вертикально встановленим щитом на дистанції 40-60 м. В залежності від положення снаряда під час влучання в мішень, як показано на рис. 1, за силуетом овальної пробійни визначається технічний стан гармати.

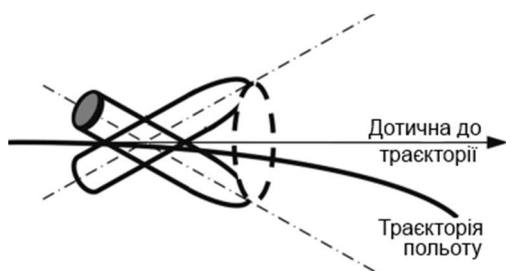


Рис. 1. Положення снаряда під час польоту

Якщо відношення осі більшого діаметра d_b до осі меншого діаметра d_m , хоча б одного з отворів перевищує 1,5, як показано на рис. 2, ствол вважається непридатним [4].

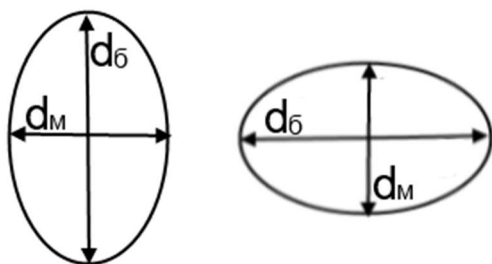


Рис.2. Форми пробійни від снаряда

Таким чином, критерієм придатності ствола за даним підходом є виконання нерівності

$$\frac{d_b}{d_m} \leq 1,5. \quad (5)$$

Метод суто емпіричний і є теоретично недостатньо обґрунтованим, а отримані на його основі висновки придатності досить приблизні.

Вимірювання видовження зарядної камери, зносу каналу ствола, згинання ствола

Дані підходи детально проаналізовані в роботах [1, 2, 3, 4, 5, 7, 12, 13, 15, 25, 26]. Вони є одним з найперших методів інструментального контролю, які були розроблені для оцінки технічного стану артилерійського озброєння. Для нарізних стволів характерним є вимірювання видовження зарядної камери ствола, а для гладких – збільшення діаметра каналу ствола.

Величина видовження зарядної камери визначається за допомогою калібрів. Типове механічне пристосування, яке використовується в армії США, показано на рисунку 3.



Рис. 3. Механічні пристосування для контролю зносу каналів стволів (США)

Інший пристрій для вимірювання видовження зарядної камери являє собою вимірювальний диск заданого діаметра, який закріплений на штанзі, що вставляється в канал ствола зі сторони казенної частини.

Такий пристрій називається приладом вимірювання довжини зарядної камери (далі – ПЗК), його зовнішній вигляд наведений на рис.4.

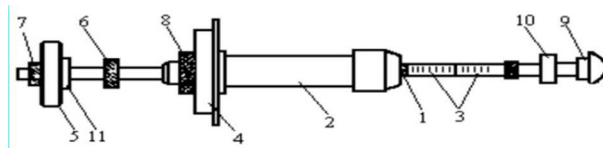


Рис. 4. Прилад ПЗК

На наведеному рисунку використані наступні позначення: 1 – штанга; 2 – трубка; 3 – подовжувачі; 4 – напрямний диск; 5 – вимірювальне кільце; 6 – захисне кільце; 7 та 8 – гайка з накаткою; 9 – досилач; 10 – вантаж; 11 – упорне кільце.

Процес збільшення об'єму камери достатньо точно характеризує працездатність нарізного ствола, так як між видовженням зарядної камери та падінням початкової швидкості снаряда існує відома функціональна залежність [5]

$$\Delta L = L_{\text{вим}} - L_0, \quad (6)$$

де ΔL – сумарне видовження зарядної камери, $L_{\text{вим}}$ – виміряна довжина камери, L_0 – довжина камери нової гармати (нульова). Вимірювання проводиться три рази і використовується значення $L_{\text{вим}} = L_{\text{вим. сер.}}$, де $L_{\text{вим. сер.}}$ – середнє значення трьох вимірювань.

Вимірювання збільшення діаметра каналу ствола без нарізів здійснюється за допомогою приладу контрольних вимірів (далі – ПКВ). Він являє собою розсувний мікрометричний нутромтр циліндричної форми із віссю обертання відлікового пристрою, перпендикулярного площині вимірювання [5]. Його зовнішній вигляд показано на рис. 5.

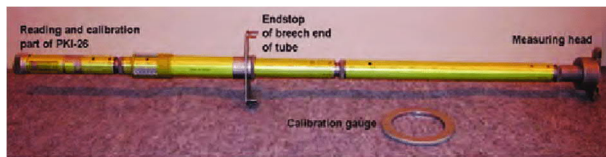


Рис. 5. Прилад ПКВ-26 (ПКІ-26)

Методика розрахунку збільшення діаметра каналу ствола аналогічна до визначення видовження зарядної камори. Використання приладів ПЗК та ПКВ характерне для пострадянських країн. Відомо і про інші схожі пристосування – пуловерні, зіркоподібні, циферблатні калібри [1], прохідні, непрохідні, бракувальні калібри [7], а також системи BG10, BG20 (Gun Barrel Bore Gauge System) [15, 26], наведені на рис. 6. Зауважимо, що при застосуванні таких вимірювальних засобів для оцінки зносу ствола велике значення має суб'єктивний аспект – кваліфікація оператора.



Рис. 6. Системи вимірювання діаметра та контролю стану каналу ствола:

a – BG10. Gun Barrel Bore Gauge System;
б – BG20. Large Calibre Barrel Bore Gauge System

Вимірювання вигину ствола може проводитися за допомогою обладнання, описаного в роботі [2]. Воно полягає у встановленні обладнання для формування направленного світлового пучка і фоточутливого приймаючого датчика відбитого променя з одного боку та відбиваючого дзеркала – з іншого. У випадку вигину ствола відбувається зміщення дзеркала та відбитого променя.

Рідинний (газовий) вимірювач. Розглянутий в роботах [2, 12]. Він може бути віднесений до класу приладів вимірювання збільшення діаметра каналу гладкого ствола, але має принципово інший підхід до його визначення.

Даний вимірювач є одним із перших приладів, в конструкції якого реалізовано принцип непрямого вимірювання зносу артилерійських стволів. Прилад складається з насоса, який через шланг подає у зарядну камору ствола рідину (газ) до заданого тиску та вимірювального циліндра з відомими геометричними розмірами, що встановлюється зі сторони дульного зрізу, як показано на рис. 7.

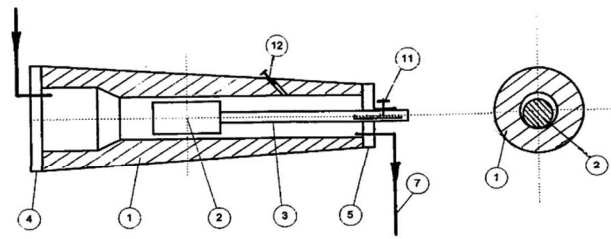


Рис. 7. Рідинний (газовий) пристрій вимірювання зносу каналу ствола:

1 – ствол; 2 – вимірювальний циліндр; 3 – штанга;
 4 – герметизуючий фланець; 5 – вихідний дульний фланець; 7 – рідина (газ), що витікає; 11 – фіксатор;
 12 – заглушки для ежекторних отворів

На основі вимірювань витрати рідини (газу), що витікають через кільцевий зазор між циліндром і поверхню каналу ствола? розраховується значення збільшення його діаметра.

Оцінка стану каналу ствола шляхом його огляду. Методи оцінки стану каналу ствола можуть реалізовуватися зовнішнім оглядом на предмет відсутності видимих дефектів чи пошкоджень, або інструментально за допомогою таких пристроїв? як оптична труба, ендоскоп, відеоскоп, бороскоп, набори дзеркал та ін. [1, 3, 9, 10, 11]. Це дзеркальні чи оптико-електронні системи різноманітної конструкції, які дозволяють оглядати внутрішню поверхню каналу ствола (рис. 8).

Їх ранні версії дозволяють лише оглядати поверхню, а більш новітні моделі можуть також зберігати і обробляти отримані зображення.

В цілому такий метод можна вважати сучасним. Він широко використовується в різних галузях промисловості, науки, освіти і медицини, а також у провідних арміях світу для проведення огляду внутрішньої поверхні каналу ствола.



Рис. 8. Відеоскоп Olympus IPLEX

Недоліком таких приладів є те, що вони не можуть використовуватись для безпосереднього вимірювання глибини ерозії та величини зносу каналу ствола, що не дозволяє визначати використаний та прогнозувати його залишковий ресурс. Приклад спостережуваного пошкодження каналу ствола наведено на рис. 9.

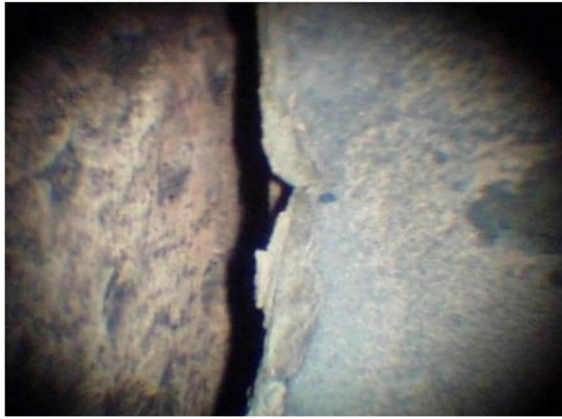


Рис. 9. Зображення внутрішньої поверхні ствола

Чіткого математичного забезпечення такий метод не має, будь-які вимірювання чи розрахунки у ньому не проводяться, він є суто оглядовим.

Системи картографування. Розглянутий в роботах [1, 9, 12, 27] метод картографування внутрішньої поверхні каналу ствола є яскравим прикладом еволюційного розвитку механічних нутромірних пристроїв та оптико-електронних оглядових систем. Еволюція виражається у вдосконаленні методів контролю та фіксації стану внутрішньої поверхні. Існує декілька варіантів таких систем. Найпростішим є алмазний індентор з пневматичним управлінням [1]. Його схематичний вигляд наведено на рис. 10.

Більш складні системи картографування в якості вимірювального інструменту використовують випромінювач та приймач лазерного випромінювання [12].

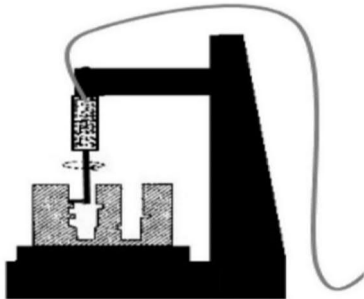


Рис. 10. Алмазний індентор з пневматичним управлінням

Типовим прикладом є польові системи BEMIS-MS на базі LP-4210F [27], наведені на рис. 11, та ПИКА-АС3 (ПИКА-АС3М2) [9], наведені на рис. 12.



Рис. 11. Система лазерної діагностики каналу ствола BEMIS™

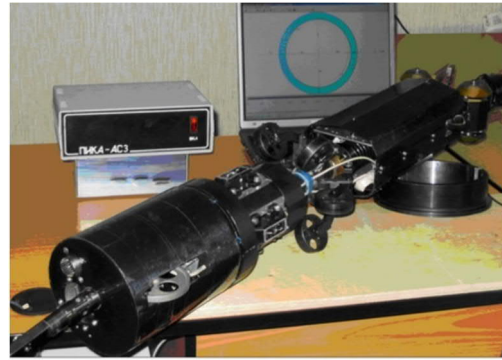


Рис. 12. Загальний вигляд приладу ПИКА-АС3

Вони є більш складним втіленням класичних систем і дозволяють проводити візуальний огляд внутрішньої поверхні каналу ствола та точне вимірювання розмірів виявлених пошкоджень. Одночасно система здатна передавати дані через мережу до ремонтного органу (виробника) для збереження та аналізу отриманих результатів. Результати сканування чудово піддаються комп'ютерній обробці. Результати проведених вимірювань представляються у вигляді розгорнутої 3-D моделі.

Діагностика технічного стану гармати на основі визначення початкової швидкості снаряда розглянута в роботах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 14]. Величина відхилення початкової швидкості снаряда може бути визначена за табличними значеннями в залежності від збільшення діаметра каналу ствола, видовження зарядної камери, числа пострілів зроблених із гармати, типу та температури порохового заряду, маси снаряда, або за допомогою спеціальних радіолокаційних станцій: балістичні радіолокаційні станції; доплерівські радары сантиметрового діапазону [6], артилерійські балістичні станції; радары початкової швидкості, які в англомовній літературі мають назву Muzzle Velocity Radars (MVR) [4] (рис. 13).

Принцип їхньої роботи базується на безпосередньому вимірюванні часу прольоту снарядом двох контрольних точок вибраних на траєкторії польоту снаряда.



Рис. 13. Типові зразки артилерійських балістичних станцій:

- а – радіолокаційна станція вимірювання початкової швидкості снаряда РСВШ-112L (Україна);
- б – уніфікована автоматизована артилерійська балістична станція УААБС (Росія)

Окремо в публікації [8] було досліджено можливість визначення початкової швидкості вильоту снаряда з каналу ствола з використанням магнітострикційної цифрової системи. Запропонований метод для вимірювання часу прольоту снарядом контрольних точок передбачає використання магнітострикційних перетворювачів, як це схематично показано на рис.14.

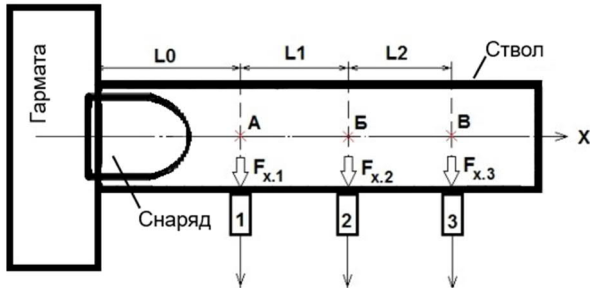


Рис. 14. Фрагмент схематичного позначення системи, де 1, 2, 3 – магнітострикційні давачі

Також для фіксації швидкості прольоту снаряда можуть використовуватися фотоелектронні, індуктивні, п'єзоелектричні та інші давачі. Усі ці прилади дозволяють з високою точністю визначати сумарне відхилення початкової швидкості снарядів.

В окрему групу варто виділити засоби **прогнозування технічного стану** та управління працездатністю складних систем. Це різноманітні інформаційно-вимірювальні комплекси та системи, які широко застосовуються в різноманітних галузях та є придатними для прогнозування залишкового ресурсу артилерійського озброєння.

Технологія управління працездатністю розглянута в роботі [14, 17]. Це відносно нова технологія, у якій передбачається збір за допомогою датчиків необхідної інформації, її оцінювання та визначення стану, а також прогноз технічного ресурсу системи за допомогою різноманітних алгоритмів штучного інтелекту. Такі системи ґрунтуються на використанні методів машинного навчання, нейронних мереж та інших можливостей штучного інтелекту. Знаючи залежності та принципи протікання фізичних процесів у часі, таке прогнозування може здійснюватися за станом поточної системи або статистичними даними характерними для подібних систем.

Вони можуть бути поєднані з автоматизованими системами управління вогнем, які вже давно успішно використовуються провідними арміями світу, а також застосовуватися для прогнозування технічного стану багатьох військових комплексів. Вони здатні обробляти та аналізувати інформацію, отриману від різноманітних давачів, що робить цю область досить перспективною для подальших досліджень. Крім того, враховуючи відсутність в доступних джерелах відомостей про використання технологій прогнозування для діагностування технічного стану артилерійського

озброєння, цей напрямок на даний час залишається недостатньо дослідженим.

Визначення технічного стану артилерійських стволів на основі аналізу акустичних сигналів. Не зважаючи на те, що метод аналізу акустичних сигналів вже давно використовується для проведення артилерійської розвідки, використання даного підходу для діагностування технічного стану артилерійського озброєння, було запропоновано відносно недавно. В роботах [3, 4, 18, 19, 20] проведено експериментальне дослідження акустичних сигналів артилерійських пострілів, запропоновано методи аналізу отриманих сигналів та розроблено інформаційну систему автоматичної оцінки ступеню зносу каналу ствола на основі SVM алгоритму класифікації [4].

Об'єктом проведених досліджень є акустичні сигнали балістичної та дульної хвиль артилерійських пострілів з гармат зі стволами з різними ступенями зносу. Приклади форм даних сигналів наведені на рисунках 15 і 16 відповідно.

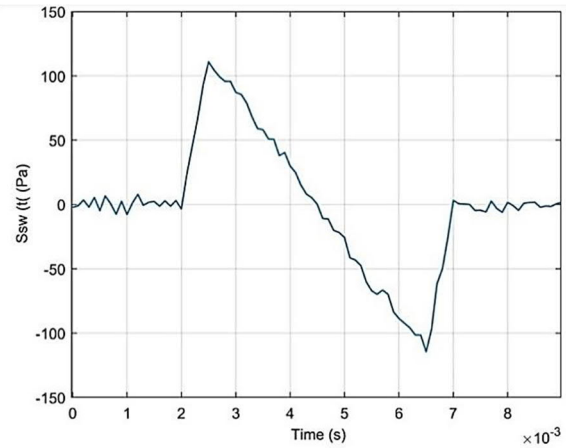


Рис. 15. Сигнал балістичної хвилі

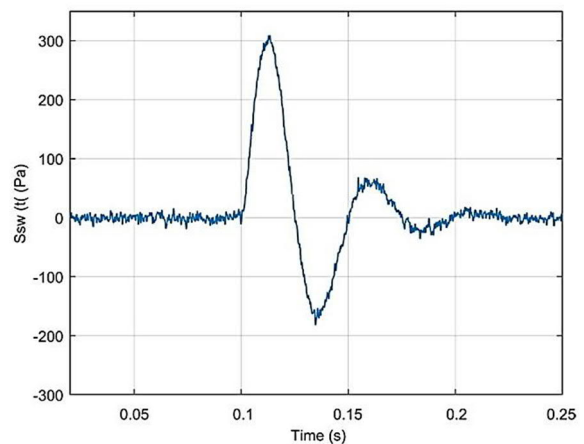


Рис. 16. Сигнал дульної хвилі

Встановлено, що параметри балістичної та дульної хвиль суттєво залежать від рівня зносу ствола. Це дозволило створити автоматичний класифікатор зносу стволів за параметрами зареєстрованих акустичних сигналів під час пострілу гармати та розробити

інформаційну технологію автоматизованої оцінки ступеня зносу каналів стволів на основі акустичних сигналів, які виникають в процесі артилерійського пострілу.

Аналіз вібраційних коливань, які виникають та поширюються вздовж каналу ствола, дозволяє визначити технічний стан артилерійського озброєння. Існуючі методики діагностування відрізняються за природою виникнення вібраційних коливань та способом їх отримання. У роботі [21] запропоновано використання безконтактного способу вимірювання зносу каналу ствола для стрілецької зброї. В основу даного способу закладено нанесення каліброваного удару по демонтованому стволу кулемета (рис. 17). Аналіз і порівняння амплітудно-частотної та амплітудно-фазової характеристик отриманих коливань з високою точністю визначає технічний стан ствола стрілецької зброї. Графічне відображення отриманих коливань представлено на рис. 18.



Рис. 17. Дослідний зразок

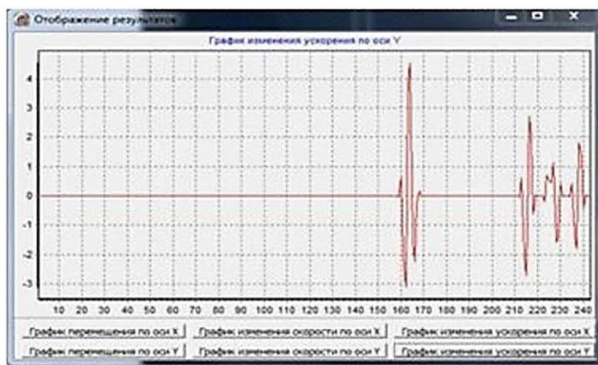


Рис. 18. Графік зміни прискорення в результаті нанесення каліброваного удару

Подібний метод для діагностування технічного стану автоматичного механізму кулемета Гатлінга використано і в роботі [22]. У цьому методі досліджуються вібраційні коливання, які виникають під час стрільби, як показано на рис. 19, без проведення демонтажу ствола. А саме: зарядження патрона, запирання, постріл, обертання ствола кулемета, екстракція стріляної гільзи та інші.

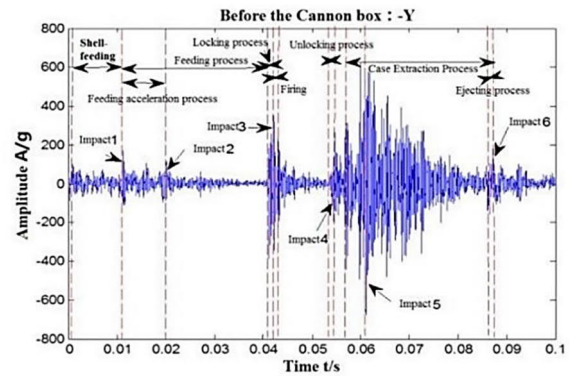


Рис. 19. Вібраційний сигнал в часовій області одиночного пострілу

Подібним способом проводились дослідження вібраційних коливань, які виникають під час пострілу рушниці [23] та автомата [24] (рис.20).

Аналіз отриманих сигналів добре піддається машинному навчанню та комп'ютерній обробці. Таке діагностування може здійснюватися в автоматичному режимі, а висновок розраховується відразу після вимірювання.

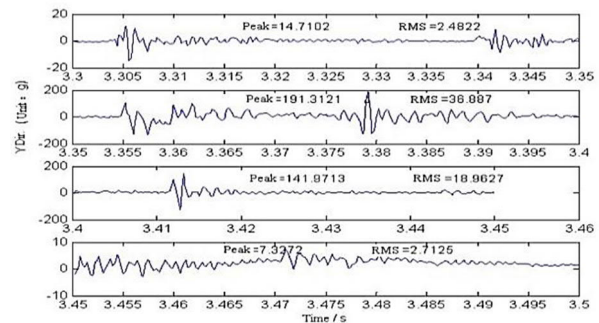


Рис. 20. Збільшений сигнал прискорення ударної хвилі в часовій області

Інші технології проведення контролю. Незважаючи на те, що вище ми вже розглянули велику кількість доступних підходів до перевірки технічного стану, однак залишилися не розглянутими деякі способи дефектоскопії, такі як ультразвуковий [28], рентгенологічний, електромагнітний, ехолокаційний, капілярний (проникнення флуоресцентних чи кольорових рідин) [10] та інші. Дані методики є досить складними і дорогими, а можливість їх застосування для діагностування технічного стану артилерійського озброєння залишається не достатньо дослідженою та досить складною для використання в польових умовах.

Узагальнення результатів аналізу. Таким чином, проведений аналіз літературних даних [1-28] вказує на велику кількість існуючих методик, які пропонують різні способи і засоби діагностування технічного стану каналів артилерійських стволів (визначення ступеня зносу), або комбінації їх поєднання в одному методі. Однак більшість з тих, що є доступними для застосування безпосередньо в польових

умовах на сьогоднішній день можна вважати морально застарілими або й взагалі не придатними для сучасних озброєнь.

Розрахункові методи не потребують складного вимірювального обладнання, в цьому їх перевага, однак вони не надають достовірних значень, а лише приблизні. Методи, що базуються на механічних вимірюваннях діаметра і вигину каналу ствола чи видовження камори, мають низьку точність та високу трудомісткість процесу вимірювань. Проведення оцінки технічного стану гарматних стволів по силуету пробіє в мішені в умовах дефіциту снарядів є не доцільним, а отримані висновки є досить приблизними. Рідинний (газовий) вимірювач, через складність використання, взагалі не отримав широкого застосування у військах. Найважливішим недоліком для цієї групи методів є відсутність можливості оперативно визначити реальний стан артилерійського озброєння та не придатність до подальшої автоматизації чи суттєвої модернізації. Крім того, розглянуті класичні методи не дозволяють діагностувати всю систему одночасно, а, як правило, лише її певну цільову частину.

Потрібно відмітити, що сьогодні в арміях провідних країн світу широко використовуються методи, які засновані на застосуванні сучасних оптико-електронних та інформаційних технологій.

Окремо зауважимо, що широко використовувані в даний час різного роду ендоскопи дозволяють досить ретельно оглянути внутрішню поверхню каналу ствола, однак вони не дозволяють вимірювати глибину пошкоджень. Системи картографування дозволяють визначити величину пошкоджень та представляють циліндричну форму ствола у плоскому 3-D розгорнутому вигляді. Результати таких оглядів можуть бути збережені та проаналізовані за допомогою комп'ютерних програм. Подібні підходи можуть бути застосовані для оцінки технічного стану зразків артилерійського озброєння, але в той же час їх суттєвим недоліком залишається відсутність можливості визначити реальний стан озброєння (адже контролюється лише стан внутрішньої поверхні каналу ствола), висока вартість обладнання, обмеженість для подальшої автоматизації та суттєвої модернізації такого методу.

Методи, які базуються на визначенні початкової швидкості вже використовуються досить тривалий час, водночас вони є і перспективними, так як широко використовують сучасні засоби діагностування, удосконалюються за рахунок впровадження новітніх технологій, а результати вимірювання добре піддаються комп'ютерному аналізу. Однак отримана інформація лише про відхилення початкової швидкості снаряда не дає можливості достовірно визначити причину, яка спричинила до такої зміни швидкості снаряда. Відповідно потрібні додаткові дослідження стану ствола.

Серед відомих методів, на нашу думку, найбільш сучасним та перспективним є підхід, який базується на аналізі акустичних полів пострілу та вібраційних коливань різного роду походження, які виникають під час пострілу та поширюються вздовж каналу ствола, а також інших складових частин озброєння. Такий метод потенційно має можливості для виявлення більшої кількості несправностей, поломок та відхилень технічних параметрів і, водночас, дозволяє зменшити витрати часу для діагностування. На відміну від інших, він може бути застосованим для оцінки технічного стану не лише для ствола гармати, а й інших частин артилерійського озброєння або всієї системи в цілому, оскільки віброакустичний сигнал, який виникає під час пострілу, містить широкий спектр інформації про технічний стан окремих деталей, вузлів та агрегатів системи у вигляді різних сигналів, які поширюються та накладаються один на одного.

На даний час зазначений підхід залишається не достатньо дослідженим для діагностування саме артилерійського озброєння, а тому він потребує розробки відповідного нового науково-методичного апарату. Крім того, такий підхід характеризується високою сумісністю з системами прогнозування та управління працездатністю технічними системами, в даному випадку артилерійськими комплексами.

Висновки

В результаті аналізу доступних публікацій з досліджуваної тематики було встановлено:

існуючі методи та засоби діагностування не забезпечують достатньо повної і в той же час оперативної оцінки технічного стану артилерійського озброєння; переважна більшість робіт з даного напрямку присвячена методам та засобам технічної діагностики лише ствола артилерійського озброєння. Не достатньо уваги приділено комплексному автоматизованому визначенню та контролю стану інших технічних засобів і систем, які забезпечують повноцінне функціонування артилерійського озброєння.

Виділено найбільш перспективний метод контролю технічного стану артилерійського озброєння, який ґрунтується на аналізі віброакустичних коливань, які виникають під час пострілу. Вказано перспективи його подальшого розвитку.

Сформовано актуальне і важливе наукове завдання, суть якого полягає в дослідженні можливості діагностування технічного стану артилерійського озброєння на основі аналізу явищ поширення віброакустичних сигналів, які виникають в процесі пострілу артилерійського озброєння, а також в необхідності розробки відповідного методу віброакустичного контролю, створенні засобів його реалізації для діагностики технічного стану артилерійського озброєння.

Література

1. Kumar D., Kalra S., Jha M. S. A concise review on degradation of gun barrels and its health monitoring techniques. *Engineering Failure Analysis*, 2022. 106791. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106791>. (дата звернення: 10.06.2023).
2. Цибуляк Б. З. Деградація параметрів стволів артилерійського озброєння в процесі експлуатації. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2016. №14. С. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.14.2016.121-126>. (дата звернення: 10.06.2023).
3. Dobrynin Ye, Boltenev V., Maksymov M. Information technology for automated assessment of the artillery barrels wear based on SVM classifier. *Applied Aspects of Information Technology* 3.3, 2020. С. 117-132. DOI: [doi.org/ 10.15276/aait.03.2020.1](https://doi.org/10.15276/aait.03.2020.1).
4. Dobrynin Ye., Maksymov M., Boltenev V. Development of a method for determining the wear of artillery barrels by acoustic fields of shots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3.5-105, 2020. С. 6-18. DOI: [10.15587/1729-4061.2020.206114](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206114).
5. Ляпа М.М., Макеєв В.І., Петренко В.М., Житник В.С. Балістична підготовка стрільби, методи і засоби її удосконалення: *Навчальний посібник*. – Суми: Видавництво СумДУ, 2008. 161 с.
6. Pinezich J. D., Heller J., Lu T. Ballistic projectile tracking using CW Doppler radar. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 46.3, 2010. С. 1302-1311. DOI: [10.1109/TAES.2010.5545190](https://doi.org/10.1109/TAES.2010.5545190).
7. Крюков О. М., Мельніков Р. С., Музичук В. А. Метод діагностування технічного стану каналів стволів та боєприпасів на основі ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України* 2, 2018. С. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2018/2/32/155166>. (дата звернення: 10.06.2023).
8. Демин С. Б., Забелина С. А., Крылов Н. А. Цифровая измерительная система для артиллерийского вооружения ВМФ. *APNI. Редакционная коллегия*, 2021. С. 5-9.
9. Соколов А. В. и др. Оптико-электронная система контроля износа каналов стволов. // *Оборонная техника*. 2014. № 10, С. 20-25.
10. Kobus Ł., Chmieliński M. Wybrane badania diagnostyczne uzbrojenia i sprzętu wojskowego za pomocą przyrządów endoskopowych. *Zeszyty Naukowe/Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki* 2. 2013, С. 129-143. DOI: [10.5604/1731-8157.1115455](https://doi.org/10.5604/1731-8157.1115455).
11. Kubisiak S., Chmieliński M., Cywiński A. Sporządzenie ekspertyz i opinii technicznych w oparciu o badania wizualne luf artyleryjskich. *Welding Technology Review* 87.12 2015, С. 81-87. DOI: doi.org/10.26628/wtr.v87i12.552.
12. Хайков В. Л. Развитие методов инструментального контроля и визуализации состояния каналов стволов артиллерийских орудий. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* 3.7. 2013. №63. С. 52-56.
13. Novak D. A., Volkov I. D. Методичний підхід до визначення залежності відхилення початкової швидкості снарядів через подовження зарядної камори артилерійських гармат, виміряне за допомогою ПЗК. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2019. №20. С. 28-32. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.28-32>. (дата звернення: 10.06.2023).
14. Ткачук П.П., Бударецький Ю.І., Щавінський Ю.В., Прокопенко В. В. Вплив засобів автоматизації управління підрозділами і вогнем артилерії на ефективність її застосування. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2015. №12. С. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.12.2015.75-82>. (дата звернення: 10.06.2023).
15. Balla J., et al. Technical Diagnostics of Tank Cannon Smooth Barrel Bore and Ramming Device. *Defence Science Journal* 65.5, 2015. С.356-362. DOI: [10.14429/dsj.65.8660](https://doi.org/10.14429/dsj.65.8660).
16. Popescu S. Evaluating the Technical Resource of Medium And Large Caliber Artillery Weaponry Using The Standard Objective Function. *International conference Knowledge-based organization*. Vol. 21. No. 3, 2015. С. 726-730. DOI: <https://doi.org/10.1515/kbo-2015-0122>. (дата звернення: 10.06.2023).
17. Li Y., Zhou T., Yi X., Liu H. Fault Prediction and Health Management Technology of Fire Control System. *2020 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC)*. IEEE, 2020. С. 242-246. DOI: [10.1109/SDPC49476.2020.9353150](https://doi.org/10.1109/SDPC49476.2020.9353150).
18. Dobrynin Ye., et al. Development of physical models for the formation of acoustic waves at artillery shots and study of the possibility of separate registration of waves of various types. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 4.5-106, 2020. С. 6-15. DOI: [10.15587/1729-4061.2020.209847](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209847).
19. Yordanov N.K., Trifonov T., Simeonov I. An experimental investigation of the 122mm artillery system firing acoustic field. *Security & Future* 1.4, 2017. С. 160-162.
20. Yordanov N.K. Wavelet analysis of acoustic signals. *Industry 4.0* 3.3, 2018. С. 138-140.
21. Королев В. А., Бочкарева О.В. Бесконтактный способ контроля износа канала ствола стрелкового оружия. *Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике*, 2017. С. 185-191.
22. Mingzhi P., Hongxia P., Xin X., Huiling L. Fault diagnosis of automatic mechanism of Gatling gun based on information entropy of second-generation wavelet. *2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*. IEEE 2017. С. 788-793. DOI: [10.1109/URAI.2017.7992826](https://doi.org/10.1109/URAI.2017.7992826).
23. Yin J., Zheng J., Teng H., Li F. Test and Processing of Gun's Shooting Vibration Signal Based on Wavelet Threshold De-Noising. *2009 First International Conference on Information Science and Engineering*. IEEE 2009. С. 675-677. DOI: [10.1109/ICISE.2009.1162](https://doi.org/10.1109/ICISE.2009.1162).
24. Pan H.X., Pan M.Z., Zhao R.P., Ren H.F. An Automaton Fault Diagnosis Based on Shock Response Analysis. *Applied Mechanics and Materials*, 226. 2012. С. 745-748. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.226-228.745>. (дата звернення: 10.06.2023).
25. Прилад замірювання подовження зарядної камори різних артилерійських гармат – лазерний (ПЗК-Л). URL: <https://quadrantrd.com/prylad-zamiruvannia-podovzhennia-zariadnoi-kamory-nariznykh-artyleryiyskykh-harmat-lazernyi/> (дата звернення: 10.06.2023).
26. BG10 & BG20. Gun Barrel Bore Gauges. URL: <https://www.agilt.co.uk/instruments-for-high-technology/instrumentation-overview/gun-barrel-bore-gauges/> (дата звернення: 10.06.2023).
27. BEMIS™ Pipe Inspection Systems. URL: https://www.laser-ndt.com/documents/news/BEMIS_pipe.pdf (дата звернення: 10.06.2023).

28. Gao W., Zhang J. Research on Defects Positioning Method of Barrel Based on L (0, 2) Mode. *2015 International Conference on Intelligent Systems Research and Mechatronics Engineering*. 2015. C. 608-613. DOI: doi.org/10.2991/isrme-15.2015.124.

References

1. Kumar D., Kalra S. and Jha M. S. A concise review on degradation of gun barrels and its health monitoring techniques. *Engineering Failure Analysis*, 2022. 106791. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106791>. (Accessed 10 June 2023).

2. Tsybulyak B. Z. "Dehradatsiya parametriv stvoliv artileriy's'koho ozbroynennya v protsesi ekspluatatsiyi" [Degradation of the parameters of the barrels of artillery weapons in the process of operation]. *Military Technical collection*. Lviv, 2016. Issue №14. pp. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.14.2016.121-126>. (Accessed 10 June 2023). [in Ukrainian].

3. Dobrynin Ye, Boltenev V. and Maksymov M. Information technology for automated assessment of the artillery barrels wear based on SVM classifier. *Applied Aspects of Information Technology* 3.3, 2020. pp. 117-132. DOI: doi.org/10.15276/aait.03.2020.1.

4. Dobrynin Ye., Maksymov M. and Boltenev V. Development of a method for determining the wear of artillery barrels by acoustic fields of shots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3.5-105, 2020. pp. 6-18. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.206114.

5. Lyapa M. M., Makeyev V. I., Petrenko V. M. and Zhytnyk V. YE. "Balistychna pidhotovka stril'by, metody i zasoby yiyi udoskonalennya" [Ballistic shooting training, methods and means of its improvement]: *Training manual*. – Sumy: Publishing House of Sumy State University, 2008. p. 161. [in Ukrainian].

6. Pinezich J. D., Heller J. and Lu T. Ballistic projectile tracking using CW Doppler radar. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 46.3, 2010. pp. 1302-1311. DOI: 10.1109/TAES.2010.5545190.

7. Kryukov O. M., Mel'nikov R. S. and Muzychuk V. A. "Metod diahnostuvannya tekhnichnoho stanu kanaliv stvoliv ta boyeprypasiv na osnovi identyfikatsiyi kharakterystyk balistychnykh elementiv postrilu" [A method of diagnosing the technical condition of bores and ammunition based on the identification of the characteristics of the ballistic elements of the shot]. *Collection of scientific works of the National Academy of the National Guard of Ukraine* 2, 2018. pp. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2018/2/32/155166>. (Accessed 10 June 2023). [in Ukrainian].

8. Domin S. B., Zabelina S. A. and Krylov N. A. "Tsifrovaya izmeritel'naya sistema dlya artileriy's'kogo vooruzheniya VMF" [Digital measuring system for artillery weapons of the Navy]. *APNI. Editorial Board*, 2021. pp. 5-9. [in Russian].

9. Sokolov A. V. et al "Optiko-elektronnaya sistema kontrolya iznosa kanalov stvolov" [Optoelectronic system for monitoring the wear of barrel channels]. *Defense technology*. 2014 Issue №10, pp. 20-25. [in Russian].

10. Kobus Ł. and Chmieliński M. "Wybrane badania diagnostyczne uzbrojenia i sprzętu wojskowego za pomocą przyrządów endoskopowych" [Selected diagnostic examinations of

armaments and military equipment using endoscopic instruments]. *Scientific Notebooks/Higher School of Land Forces Officers gen. T. Kosciuszko* 2. 2013, pp. 129-143. DOI: 10.5604/1731-8157.1115455. [in Polish].

11. Kubisiak S., Chmieliński M. and Cywiński A. "Sporządzenie ekspertyz i opinii technicznych w oparciu o badania wizualne luf artyleryjskich" [Preparation of expert opinions and technical opinions based on visual examinations of artillery barrels]. *Welding Technology Review*. 2015, Issue №87, pp. 81-87. DOI: doi.org/10.26628/wtr.v87i12.552. [in Polish].

12. Khaykov V. L. "Razvitiye metodov instrumental'nogo kontrolya i vizualizatsii sostoyaniya kanalov stvolov artileriy's'kikh orudiy" [Development of methods of instrumental control and visualization of the state of the channels of the barrels of artillery pieces]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3.7. 2013. Issue №63. pp. 52-56. [in Russian].

13. Novak D. A. and Volkov I. D. "Metodychnyy pidkhid do vyznachennya zalezhnosti vidkhyleniya pochatkovoyi shvydkosti snaryadiv cherez podovzhennya zaryadnoyi kamory artileriy's'kykh harmat, vymiryane za dopomohoyu PZK" [A methodical approach to determining the dependence of the deviation of the initial velocity of projectiles due to the elongation of the loading chamber of artillery guns, measured using the PZK]. *Military Technical collection*. Lviv, 2019. Issue №20. pp. 28-32. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019.28-32>. (Accessed 10 June 2023). [in Ukrainian].

14. Tkachuk P. P., Budarets'ky Yu. I., Shchavins'ky Yu. V. and Prokopenko V. V. "Vplyv zasobiv avtomatyzatsiyi upravlinnya pidrozdilamy i vohnem artileriyi na efektyvnist' yiyi zastosuvannya" [The influence of means of automating control of units and artillery fire on the effectiveness of its use]. *Military Technical collection*. Lviv, 2015. Issue №12. pp. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.12.2015.75-82>. (Accessed 10 June 2023). [in Ukrainian].

15. Balla J., et al. Technical Diagnostics of Tank Cannon Smooth Barrel Bore and Ramming Device. *Defence Science Journal* 65.5, 2015. pp.356-362. DOI : 10.14429/dsj.65.8660.

16. Popescu S. Evaluating the Technical Resource of Medium And Large Caliber Artillery Weaponry Using The Standard Objective Function. *International conference Knowledge-based organization*. Vol. 21. Issue №3, 2015. pp. 726-730. DOI: <https://doi.org/10.1515/kbo-2015-0122>. (Accessed 10 June 2023).

17. Li Y., Zhou T., Yi X. and Liu H. Fault Prediction and Health Management Technology of Fire Control System. *2020 International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC). IEEE*, 2020. pp. 242-246. DOI: 10.1109/SDPC49476.2020.9353150.

18. Dobrynin Ye., et al. Development of physical models for the formation of acoustic waves at artillery shots and study of the possibility of separate registration of waves of various types. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 4.5-106, 2020. pp. 6-15. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209847.

19. Yordanov N.K., Trifonov T. and Simeonov I. An experimental investigation of the 122mm artillery system firing acoustic field. *Security & Future* 1.4, 2017. pp. 160-162.

20. Yordanov N.K. Wavelet analysis of acoustic signals. *Industry 4.0* 3.3, 2018. pp. 138-140.

21. Korolev V. A. and Bochkareva O.V. "Beskontaktnyy sposob kontrolya iznosa kanala stvola strelkovogo oruzhiya"

[Non-contact method for monitoring the wear of the barrel bore of small arms]. *Problems of informatics in education, management, economics and technology*. 2017. pp. 185-191.

22. Mingzhi P., Hongxia P., Xin X. and Huiling L. Fault diagnosis of automatic mechanism of Gatling gun based on information entropy of second-generation wavelet. *2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*. IEEE 2017. pp. 788-793. DOI: 10.1109/URAI.2017.7992826.

23. Yin J., Zheng J. and Teng H., Li F. Test and Processing of Gun's Shooting Vibration Signal Based on Wavelet Threshold De-Noising. *2009 First International Conference on Information Science and Engineering*. IEEE 2009. pp. 675-677. DOI: 10.1109/ICISE.2009.1162

24. Pan H.X., Pan M.Z., Zhao R.P. and Ren H.F. An Automaton Fault Diagnosis Based on Shock Response Analysis. *Applied Mechanics and Materials*, 226. 2012. pp. 745-748. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.226-228.745>. (Accessed 10 June 2023).

25. "Prylad zamiryuvannya podovzhennya zaryadnoyi kamory nariznykh artyleriys'kykh harmat – lazernyy (PZK-L)" [Device for measuring the elongation of the charging chamber of rifled artillery guns - laser (PZK-L)]. URL: <https://quadrantrd.com/prylad-zamiryuvannya-podovzhennia-zariadnoi-kamory-nariznykh-artyleriyskykh-harmat-lazernyi/> (Accessed 10 June 2023).

26. BG10 & BG20. Gun Barrel Bore Gauges. URL: <https://www.agilt.co.uk/instruments-for-high-technology/instrumentation-overview/gun-barrel-bore-gauges/> (Accessed 10 June 2023).

27. BEMIS™ Pipe Inspection Systems. URL: https://www.laser-ndt.com/documents/news/BEMIS_pipe.pdf (Accessed 10 June 2023).

28. Gao W. and Zhang J. Research on Defects Positioning Method of Barrel Based on L (0, 2) Mode. *2015 International Conference on Intelligent Systems Research and Mechatronics Engineering*. 2015. pp. 608-613. DOI: doi.org/10.2991/isrme-15.2015.124.

MODERN METHODS AND MEANS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF ARTILLERY WEAPONS AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT

Yu. Shabatura, O. Popovchenko

The analysis of full-scale military operations in the east of Ukraine indicates an increase in the variety of firing tasks for artillery weapons and the intensity of their execution. This, in turn, requires the maintenance of artillery weapons and systems that ensure their proper operation in a serviceable and ready-to-use condition, as well as the prevention of sudden breakdowns and failures during combat missions.

Taking into account the influence of the technical condition on the effectiveness and safety of the combat use of artillery weapons, there is a need to improve the methods and means of its diagnosis.

This article analyzes the available domestic and foreign studies devoted to the development and improvement of methods for diagnosing the technical condition of artillery weapons. Existing devices for measuring, inspecting, evaluating and controlling the technical condition are considered. The existing systematization was expanded, generalization and addition of known methods and tools was carried out. The main possibilities, advantages and disadvantages of known methods, as well as promising directions for further research are determined.

It has been established that the majority of studies of possible methods of diagnosing the technical condition of artillery weapons are focused mainly on the analysis of the parameters of only the gun barrel and do not consider the ability of the studied methods to assess the technical condition of artillery weapons comprehensively.

The analysis also showed that despite the large number of existing techniques for diagnosing the technical condition (determining the degree of wear), most of them are not suitable for use directly in field conditions, morally outdated or very expensive.

In addition, it was determined that the application of the analysis of acoustic and vibration signals that occur during a shot is a promising direction for diagnosing the technical condition of artillery weapons, which potentially has the ability to detect more malfunctions, breakdowns and deviations of technical parameters.

Keywords: *artillery weapons, determination of technical condition, technical condition of the barrel, diagnostic methods, diagnostic tools.*