

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ КАНАЛІВ СТВОЛІВ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

Запропоновано методичний підхід до кількісного оцінювання ефективності засобів технічного діагностування каналів стволів вогнепальної зброї. Обґрунтовано доцільність упровадження експлуатаційного технічного діагностування каналів стволів у загальну систему заходів, спрямованих на встановлення технічного стану зразків озброєння. Визначено групу властивостей засобів технічного діагностування, що підлягають оцінюванню, синтезовано вирази для відповідних показників ефективності. Проведено кількісне оцінювання ефективності відомих і перспективних засобів технічного діагностування вітчизняного й іноземного виробництва.

Ключові слова: канал ствола, ефективність засобів діагностування, технічне діагностування, технічний стан, дефект каналу ствола.

Постановка проблеми. В умовах ведення активних бойових дій підвищується схильність стволів вогнепальної зброї до руйнування, що зумовлене температурними впливами, функціонуванням зброї в умовах бруду та вологи, відсутністю своєчасного обслуговування, значним перевищенням ресурсу (настрілом) та іншими негативними чинниками [1]. Важливим також є несприятливий вплив на технічний стан (ТС) каналів стволів (КС) чинника використання значного різноманіття боєприпасів, які мають різні хімічні і фізичні показники, що зумовлене відмінностями технологічних процесів їх виготовлення в різних країнах світу, а також випадками зберігання у неконтрольованих умовах. Комплекс визначених чинників викликає передчасні пошкодження (деградацію) поверхні КС та їх критичне зношування, унаслідок чого зразок зброї припиняє відповідати вимогам, установленим у технічній документації, а його ресурс передчасно вичерпується [2]. При цьому не виключаються випадки невідповідності фактичного залишкового ресурсу тому, що зазначений у формулярі на зразок зброї.

Пошкодження КС призводить до змінювання балістичних характеристик зброї, наприклад, до падіння дульної швидкості снаряда, зменшення купчастості стрільби (збільшення розсіювання точок влучання відносно точки прицілювання) і навіть до раптової відмови зразка озброєння [3]. Усе це створює умови для непрогнозованого зниження якості виконання вогневих завдань [4].

Така ситуація спонукає до прийняття організаційно-технічних заходів у напрямі вдосконалення процесу технічного діагностування (ТД) КС для своєчасного виявлення відмов зброї і запобігання їм. Зокрема, у [5] запропоновано впровадження нового виду ТД – експлуатаційного. Цей вид ТД може бути впроваджений додатково до відомих видів ТД, установлених стандартом [6], наприклад, у випадку реалізації попередньої передремонтної діагностики (дефектації) [7], технічного огляду озброєння посадовими особами [8] тощо. Експлуатаційне ТД проводиться без переривання процесу експлуатації зразка зброї, тобто безпосередньо під час його використання за призначенням або технічного обслуговування, що дає певні переваги. Процес ТД може здійснюватися у польових умовах (у разі знаходження зразка озброєння в районі ведення бойових дій – на позиціях або безпосередньо близько до них, без потреби виведення в тиллові пункти), що дає змогу виключити транспортування зброї до стаціонарних місць проведення контролю й істотно підвищує його оперативність. Це дасть можливість своєчасно приймати рішення щодо доцільності ремонту і вибраковування зразків озброєння, що, зі свого боку, підвищить готовність зброї до застосування і відповідно збільшить імовірність виконання бойового (вогневого) завдання. У більшості випадків експлуатаційне ТД доцільно орієнтувати на зразки озброєння з обмеженим ресурсом, підвищеними вимогами до точності стрільби, високою вартістю закупівлі й обслуговування. До такої зброї можна віднести сучасне артилерійське і снайперське озброєння, для яких важливі прихованість, обмеження у пересуванні та завжди справний стан для забезпечення влучання у ціль з першого пострілу.

Отже, концепція експлуатаційного ТД передбачає швидке отримання значного обсягу даних (виміральної інформації) про ТС діагностованого зразка зброї, що висуває підвищені вимоги до засобів діагностування. На цей час є відомими засоби ТД, які умовно можна віднести до традиційних (вимірвальні калібри, нутроміри, бороскопи та ін. [9, 10]), та перспективних (наприклад, на основі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик КС [5]). За допомогою

останнього визначається множина значень радіусів КС за певними кутовою та осьюовою орієнтаціями лазерного зондувального променя. При цьому отримані дані табулюються і надалі можуть бути застосовані для визначення характеристик дефектів, для візуалізації результатів у вигляді тривимірної моделі поверхні КС тощо.

Із наведеного аналізу випливає, що створення комплексу засобів для реалізації експлуатаційного ТД КС є нагальною потребою практики, і це зумовлює необхідність розв'язання низки важливих науково-технічних завдань. Одним із таких завдань є обґрунтування принципу дії та складу комплексу засобів діагностування. При цьому прийняття рішення щодо доцільності застосування того чи іншого засобу ТД або їхнього поєднання у складі діагностичного комплексу потребує всебічного аналізу потенційно досяжного ефекту під час реалізації експлуатаційного ТД. Зокрема, для вибору й оцінювання придатності засобів діагностування слід виконати їхній порівняльний аналіз за певними показниками ефективності.

Однак, незважаючи на доволі широке висвітлення в літературі питань оцінювання ефективності технічних систем військового призначення, на цей час залишається не вирішеною проблема формування єдиного методичного підходу до створення переліку і кількісного оцінювання показників ефективності засобів експлуатаційного ТД КС вогнепальної зброї.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Показники, критерії та методи оцінювання ефективності технічних систем описано у низці вітчизняних та іноземних наукових праць, проте підходи, що висвітлені в них, різняться залежно від призначення цих технічних систем.

У статті [11] запропоновано метод оцінювання ефективності технічних систем за допомогою графоаналітичних діаграм часткових та інтегральних показників ефективності систем, але цей метод має обмежені точність і сферу застосування у зв'язку зі здатністю враховувати лише певну кількість часткових показників ефективності.

Методи оцінювання повних і часткових показників ефективності проаналізовано у [12], проте у викладених підходах віддається перевага показникам надійності і водночас не враховуються показники, в яких відображено властивості, пов'язані із витратами часу на реалізацію процесів.

Часткові показники і критерії ефективності метрологічного забезпечення засобів зв'язку запропоновані та розглянуті у статті [13]. У ній автори обґрунтували доцільність використання часткових показників ефективності – показників інформативності, оперативності, економічності та мобільності, проте їх оцінювання й оптимізація враховують лише організаційний складник роботи підрозділів метрологічного забезпечення. Вплив характеристик засобів вимірювальної техніки на ефективність заходів з метрологічного забезпечення у статті не розглянуто.

Аналіз джерел [14–17] свідчить про відмінність світових підходів до оцінювання ефективності технічних систем залежно від сфери їхнього застосування. Так, для технічних систем військового призначення ефективність у [14] розглядається в контексті спроможності виконати поставлене завдання з максимальною результативністю та технічною надійністю без урахування ресурсних затрат. Ефективність технічних систем виробничого призначення у [15, 16] пропонується оцінювати за допомогою показника ОЕЕ (*Overall Equipment Effectiveness*), що є інтегрованим показником ефективності і складається з часткових показників доступності, продуктивності та якості. Ефективність технічних систем невійськового призначення визначається у [17] як ступінь задоволення потреб кінцевого споживача за умови мінімальних ресурсних витрат.

Отже, як виявляє проведений аналіз, у відомих джерелах інформації бракує систематизованого викладу методичних основ оцінювання ефективності технічних систем військового призначення в цілому та ефективності засобів ТД КС вогнепальної зброї зокрема.

Метою статті є обґрунтування методичного підходу до формування переліку, синтезу виразів і кількісного оцінювання показників ефективності засобів експлуатаційного технічного діагностування каналів стволів вогнепальної зброї.

Виклад основного матеріалу. Як зазначено вище, в сучасних умовах ведення бойових дій виникає необхідність оперативного визначення ТС КС зразків озброєння підрозділів, що виконують бойові операції, без вилучення їх із зони виконання завдань. Також варто додати, що у зв'язку зі значним оновленням систем озброєння новітніми зразками зросли й вимоги до якості ТД. Ураховуючи ці чинники, можна сформулювати і навести завдання, які мають вирішуватися за допомогою комплексу засобів експлуатаційного ТД.

1. Контроль технічного стану і встановлення категорії зразка зброї, тобто його умовної облікової характеристики залежно від поточного ТС, запасу технічного ресурсу та необхідності проведення ремонту.

2. Отримання достовірної інформації про місце і причини виникнення несправності (у разі її наявності).

3. Визначення залишкового ресурсу об'єкта діагностування та/або прогнозування ТС на визначений інтервал часу в майбутньому.

Процес ТД являє собою операцію, тобто систему цілеспрямованих дій, об'єднаних загальною метою. Дослідження операції передбачає спільний розгляд її трьох визначальних аспектів: діяльність з управління операцією; активні засоби операції (технічні системи); інші засоби, що взаємодіють з активними засобами (об'єкти впливу, особовий склад і озброєння противника тощо). Під час реалізації ТД КС засіб діагностування (діагностичний комплекс) виступає як активний засіб досягнення мети, і в цьому разі поняття ефективності операції ототожнюють з поняттям ефективності засобу ТД.

Порівняння засобів діагностування здійснюється на основі визначення і кількісного оцінювання показників ефективності, які характеризують ступінь відповідності результатів ТД вимогам, що висуваються до нього. Результат ТД залежить від властивостей засобу ТД, які відбиваються на корисному ефекті, а також витрачених ресурсах та часі. Визначимо ці властивості як інформативність, оперативність та економічність засобу ТД КС.

Інформативність характеризує собою повноту і достовірність даних, які отримують за результатами ТД. У разі встановлення категорії ствола ці дані являють собою інформацію про відхилення геометричних розмірів визначених ділянок КС від установлених для кожної з категорій діапазонів допустимих значень. У випадку визначення місця розташування і характеру несправності ці дані являють собою інформацію про наявність і кількісну оцінку характеристик дефектів КС. Варто зазначити, що до поширених дефектів КС можна віднести діаметральний знос (стирання) КС, подовження зарядної камори, роздуття ствола, наявність раковин, тріщин, знос (стирання, викришування) бойових граней нарізів тощо.

Розглянемо показники інформативності для випадків установлення категорії ствола і визначення місця розташування та характеру несправності окремо. Зауважимо, що для забезпечення порівнянності і наочності показників ефективності слід намагатися під час синтезу відповідних виразів для кількісного оцінювання забезпечити їх перебування у діапазоні можливих значень [0; 1] для будь-яких сполучень засобів та умов проведення ТД. При цьому приймемо, що у разі збільшення ефективності значення показника зростатиме.

Під час установлення категорії ствола показник інформативності I_K доцільно визначати як імовірність P_B прийняття вірного висновку про номер категорії ствола за його ТС на основі вимірювальної інформації про відхилення геометричних параметрів ділянок КС від установлених для них допусків. Достовірність P_B залежить від імовірності прийняття невірного висновку про ТС КС, яка, зі свого боку, складається з імовірностей хибного і невиявленого виходу контрольованого параметра за межі допуску для цієї категорії ствола за ТС (далі – ймовірностей появи хибної та невиявленої відмов) [18]:

$$P_B = 1 - P_H = 1 - (P_{HB} + P_{XB}), \quad (1)$$

де P_H – імовірність появи невірного висновку; P_{HB} – імовірність появи невиявленої відмови; P_{XB} – імовірність появи хибної відмови.

Приймемо такі позначення: x – істинне значення контрольованого параметра КС, яке для множини однотипних виробів є випадковою величиною; φ_x – щільність розподілу ймовірностей значень x ; Δ – абсолютна похибка вимірювання контрольованого параметра КС за допомогою засобу діагностування, яка також є випадковою величиною; φ_Δ – щільність розподілу ймовірностей значень Δ ; $b - a = 2\delta$ – ширина поля допуску (тут δ – допустиме відхилення контрольованого параметра від середини поля допуску або номінального значення параметра).

Тоді вирази, за якими розраховуються складові P_{XB} і P_{HB} , можна подати у такому вигляді [19]:

$$P_{XB} = \int_0^{b-a} \left(\int_{b-\Delta}^b \phi_x dx \right) \phi_\Delta d\Delta + \int_{-(b-a)}^0 \left(\int_a^{a-\Delta} (\phi_x dx) \phi_\Delta d\Delta \right), \quad (2)$$

$$P_{HB} = \int_0^{b-a} \left(\int_{a-\Delta}^a \phi_x dx \right) \phi_\Delta d\Delta + \int_{-(b-a)}^0 \left(\int_b^{b-\Delta} (\phi_x dx) \phi_\Delta d\Delta \right). \quad (3)$$

Знаходження P_{XB} і P_{HB} за виразами (2) і (3) є доволі громіздким і незручним, тому на практиці доцільно використовувати графоаналітичний спосіб визначення цих значень [18].

Зазначимо, що розподіл контрольованого параметра (наприклад, діаметрального зносу КС або подовження зарядної камери) за полем допуску зазвичай підпорядковується рівномірному закону розподілу, оскільки процес деградації поверхні КС під час стирання не може мати знакозмінного характеру і відбувається внаслідок одного домінуючого чинника. Похибка засобу ТД розподілена за нормальним законом, оскільки є наслідком дії кількох сумірних за масштабом впливу чинників.

Вихідними даними для знаходження P_{XB} і P_{HB} графоаналітичним способом є:

- значення границі допустимої похибки вимірювання контрольованого параметра Δ ;
- допустиме відхилення контрольованого параметра δ ;
- значення середньоквадратичного відхилення (СКВ) σ_x контрольованого параметра або

значення довірчої ймовірності P_d для довірчого інтервалу Δx_{\max} контрольованого параметра.

Щоб знайти P_{XB} і P_{HB} графоаналітичним способом, потрібно застосовувати номограми залежностей $P_{XB}(\frac{\delta}{\sigma_x}, \frac{\delta}{\Delta})$, $P_{HB}(\frac{\delta}{\sigma_x}, \frac{\delta}{\Delta})$ для розподілу контрольованого параметра за рівномірним, а похибки його вимірювання – за нормальним законом. Такі номограми (рисунок 1) наведено у спеціалізованих літературних джерелах з описом графоаналітичного способу оцінювання достовірності вимірювального контролю параметрів, наприклад [19].

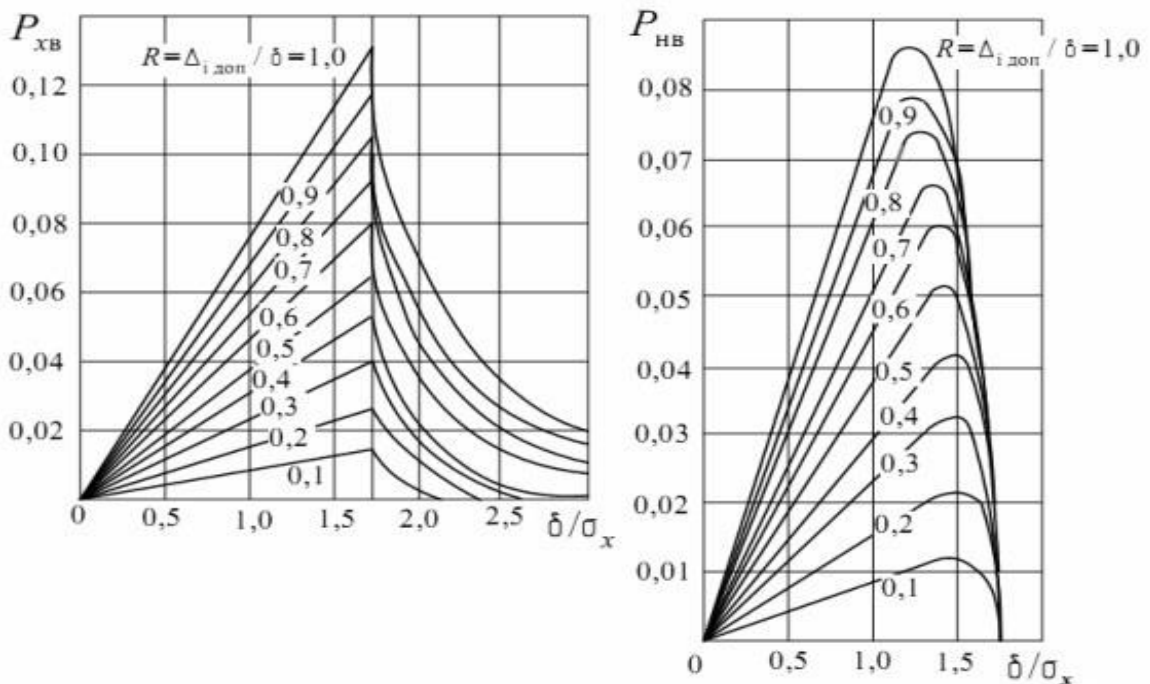


Рисунок 1 – Номограми для розподілу контрольованого параметра за рівномірним, а похибки його вимірювання – за нормальним законом

Значення σ_x може бути визначене за результатами аналізу параметрів певної множини зразків зброї цього типу. Якщо одержання таких відомостей є ускладненим, то у першому наближенні можна вважати, що довірчий інтервал Δx_{\max} контрольованого параметра є сумірним зі значенням допуску

δ , і виходити із відомого співвідношення між Δx_{\max} та σ_x для рівномірного закону розподілу випадкової величини [18]:

$$\sigma_x = \Delta x_{\max} / t_p, \quad (4)$$

$$\Delta x_{\max} \cong \delta, \quad (5)$$

де t_p – довірчий (квантильний) коефіцієнт, табульований для різних законів розподілу (зокрема, у [19]).

Із виразів (4) і (5) маємо:

$$\frac{\delta}{\sigma_x} = \frac{\Delta x_{\max}}{\Delta x_{\max} / t_p} = t_p. \quad (6)$$

Наприклад, для рівномірного закону розподілу контрольованого параметра у випадку, якщо довірна ймовірність $P_d = 0,9$, то значення $t_p = 1,56$. Отже, у разі використання номограм

вважатимемо, що $\frac{\delta}{\sigma_x} \cong 1,6$.

За результатами розрахунку значень $|\delta|/\sigma_x$ і $R = \Delta/\delta$ потрібно ввійти до номограм: значення $|\delta|/\sigma_x$ відкладається по осі абсцис кожної з номограм, після чого вибираються криві, які відповідають заздалегідь розрахованим значенням R . За номограмами визначаються точки перетину абсцис $|\delta|/\sigma_x$ з кривими R , ординати яких дають шукані значення P_{XB} і P_{HB} . Значення показника інформативності I_K розраховується за виразом (1).

У випадку реалізації ТД з метою визначення місця розташування і характеру несправності для синтезу показника інформативності I_H засобу ТД доцільно враховувати наявність або відсутність його спроможності ідентифікувати певний значущий дефект КС із визначеного вище (або встановленого виробником зразка зброї) переліку.

Одним із доволі простих, але цілком обґрунтованих підходів до синтезу показника інформативності I_H є прийняття згоди про кількісне оцінювання спроможності ідентифікувати дефект КС числом 1, а відсутності цієї спроможності – числом 0. З урахуванням того, що весь перелік можливих значущих дефектів КС складається з n відомих видів пошкоджень, формула для визначення показника інформативності засобу ТД КС набирає вигляду

$$I_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i, \quad (7)$$

де I_H – показник інформативності; F_i – оцінка спроможності ідентифікації i -го дефекту КС; n – кількість значущих дефектів КС, що беруться до уваги під час ТД.

Іншим, більш складним підходом можна вважати умову про надання окремих балів цьому показнику як за спроможність установлення самого факту наявності певного дефекту, так і за спроможність з визначення кількісних оцінок ступеня його прояву (наприклад, за спроможність визначення глибини пошкодження та площі його основи). Отже, кожна з оцінок F_i визначатиметься сумою її доданків F_i' , F_i'' , F_i''' . При цьому F_i' може приймати значення 0 (у разі відсутності спроможності ідентифікувати i -те пошкодження КС) або 0,33 (за наявності такої спроможності); F_i'' приймає значення 0 (у разі відсутності спроможності визначення глибини i -го пошкодження) або 0,33 (у разі наявності такої спроможності); F_i''' також приймає значення 0 (за відсутності спроможності визначення площі основи i -го пошкодження) або 0,33 (за наявності такої спроможності). Згідно з таким підходом показник інформативності визначатиметься виразом

$$I_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i' + F_i'' + F_i'''). \quad (8)$$

Оперативність засобу ТД характеризує швидкість процесу ТД, що реалізується за його допомогою, або витрати часу на процес ТД. Показник оперативності має враховувати як заданий граничний

(бажаний) час на виконання ТД КС, так і реальну трудомісткість (працевтрати) діагностичних операцій за допомогою вибраних засобів, технічні характеристики засобів ТД та компетентності оператора. Час, що витрачається на ТД КС, є сумою інтервалів часу, які витрачаються на окремі операції. До цих операцій належать:

- підготовка засобу ТД до роботи;
- проведення діагностичних операцій (вимірювання, контроль ТС, проміжні розрахунки тощо);
- аналіз результатів ТД;
- виконання регламентованих робіт із засобом ТД після завершення його застосування за призначенням.

На основі зазначеного підходу вираз для показника оперативності O засобу ТД КС можна подати у такому вигляді:

$$O = \frac{T_{зад}}{\sum_{j=1}^m T_j}, \quad (9)$$

де $T_{зад}$ – заданий (бажаний) час на проведення ТД; m – кількість етапів ТД; T_j – час, витрачений на виконання операцій j -го етапу ТД.

Економічність засобу ТД характеризує обсяг ресурсів, необхідних для його закупівлі (створення, виготовлення), та витрат на його експлуатацію і подальшу утилізацію. Експлуатація засобу ТД охоплює етапи зберігання, транспортування, застосування за призначенням, підтримання готовності (технічне обслуговування, можливі ремонт або модернізація). Доцільно також брати до уваги витрати на підготовку (навчання) відповідних фахівців з експлуатації засобів ТД (операторів). Отже, показник економічності має враховувати такі витрати:

- на створення або закупівлю (наприклад, ринкова вартість комплексу засобів ТД);
- на застосування за призначенням (вартість матеріальних цінностей, які потрібні для забезпечення функціонування засобів ТД, наприклад, електронергії, експлуатаційних рідин тощо);
- на технічне обслуговування і ремонт (вартість послуг з калібрування, налаштування, юстирування, відновлення працездатності, витратних матеріалів та вузлів, що підлягають заміні у разі потреби в ремонті, а також вартість відповідного логістичного забезпечення);
- на зберігання і транспортування (вартість матеріальних засобів та утримання приміщень, необхідних для зберігання засобів ТД, вартість транспортувальної тари тощо);
- на навчання і підготовку операторів (вартість послуг заводу-виробника або іншої установи, що надає послуги з навчання персоналу);
- на утилізацію (вартість оплати послуг підприємствам з утилізації засобів ТД, які вичерпали встановлений технічною документацією ресурс використання або стали не придатними для використання і відновлення).

Вираз для визначення показника економічності E можна подати у такому вигляді:

$$E = \frac{C_{зад}}{C_{факт}} \quad \text{при} \quad C_{факт} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^h C_{i,j}, \quad (10)$$

де $C_{зад}$ – заданий (бажаний) обсяг витрат на комплекс засобів ТД; $C_{факт}$ – фактичне значення витрат на комплекс засобів ТД; k – кількість засобів вимірювання, що входять до такого комплексу; h – кількість етапів життєвого циклу засобів ТД, на яких передбачаються витрати (виробництво або закупівля, технічне обслуговування, зберігання та ін.); $C_{i,j}$ – вартість операції, що виконується за допомогою i -го засобу ТД та j -му етапі життєвого циклу.

Результатом застосування викладеного методичного підходу стане сукупність значень трьох окремих показників ефективності – I , O , E . Зазначимо, що доцільність подальшої скаляризації цих трьох показників (об'єднання в один узагальнений) має визначитися фахівцем з огляду на специфіку і мету конкретного дослідження. Далі кількісне оцінювання I , O , E та аналіз його результатів буде проводитися за умов збереження самостійної значущості кожного із цих показників, тобто фактично узагальнений показник подаватиметься у векторному вигляді.

Проведемо кількісне оцінювання зазначених показників ефективності для випадків застосування таких засобів ТД.

1. Вітчизняний діагностичний комплекс, що складається з приладу заміру довжини зарядної камери (ПЗК), приладу заміру діаметрального зносу КС ПКі механічної зірки (МЗ) та ендоскопа [20]. Зауважимо, що для забезпечення можливості ТД різних систем озброєння у складі діагностичного комплексу необхідно використовувати кілька комплектів ПКі та ПЗК, які забезпечуватимуть виконання вимірювань у діапазонах калібрів і геометричних розмірів поширених зразків озброєння (а саме ПКі-10, ПКі-17, ПКі-19, ПКі-20, ПКі-26, а також комплекти 1, 11, 12, 13 ПЗК), що впливатиме на розрахунки під час оцінювання показників ефективності.

2. Закордонний діагностичний комплекс *Zistos Measuring Kit* [21].

3. Перспективний засіб діагностування на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик КС [5].

Оцінювання показника інформативності I_K здійснювалося з урахуванням відомостей про границі допустимих похибок вимірювання зазначених вище засобів ТД [9, 10, 20]. Розрахунки виконано для прикладу проведення категорювання 125-мм танкової гармати типу Д-81, при цьому границі діапазонів значень діаметрального зносу КС для переведення із I у II, із II у III та із III у V категорії встановлено у [21].

Результати кількісного оцінювання I_K наведено на рисунку 2.

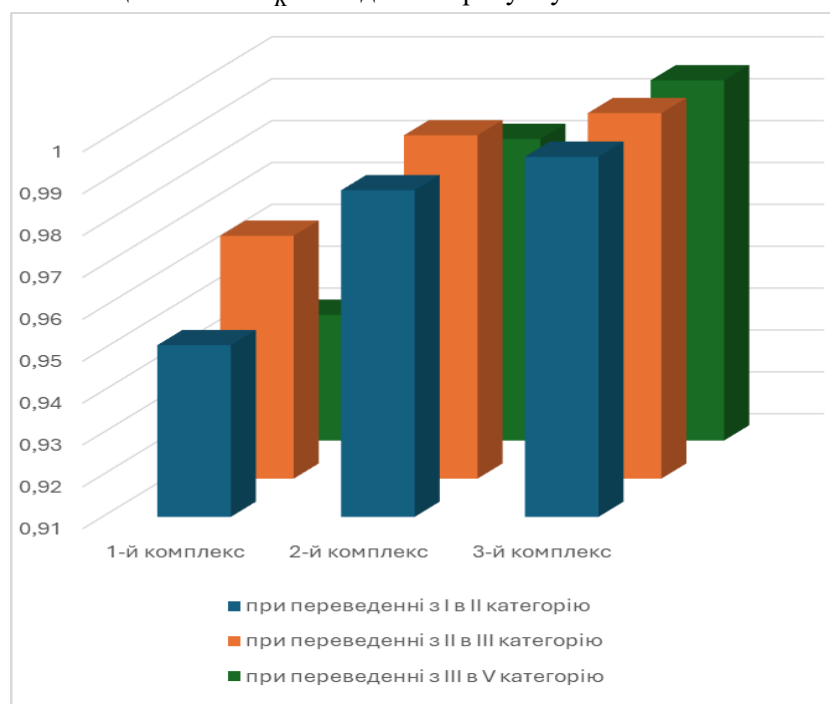


Рисунок 2 – Результати кількісного оцінювання показника інформативності I_K

Зауважимо, що всі три діагностичні комплекси, які розглядаються, забезпечують порівняно високі й цілком прийнятні значення показника I_K , при цьому деяку перевагу дає застосування перспективного засобу діагностування на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик КС.

Оцінювання показника інформативності I_H здійснювалося для типового переліку значущих дефектів [діаметральний знос, подовження зарядної камери, тріщина, вкол поля, знос ведучої (бойової) грані нарізу, раковина, роздуття КС] кількістю $n = 7$. При цьому відповідно до виразу (8) окремими балами враховувалися як спроможність установлення самого факту наявності певного дефекту, так і спроможність з визначення глибини пошкодження та площі його основи. Результати кількісного оцінювання I_H наведено на рисунку 3.

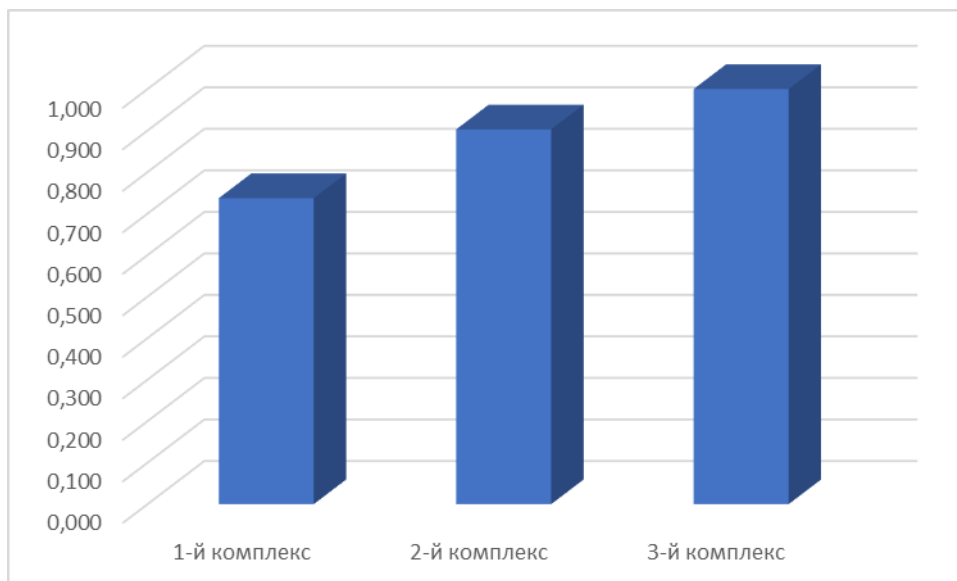


Рисунок 3 – Результати кількісного оцінювання показника інформативності I_H

Як видно на рисунку 3, перший із комплексів засобів ТД істотно поступається другому й третьому і характеризується порівняно низьким значенням показника ефективності. Третій комплекс (перспективний засіб діагностування на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик КС) забезпечує найвище із трьох отриманих значень показника I_H .

Для кількісного оцінювання показників оперативності O прийємо припущення, що $T_{зад}$ дорівнює часу, який виділяється для обслуговування артилерійської системи (наприклад, калібру 152 або 155 мм) під час паркового дня. Зі свого боку час, який витрачається на виконання операцій j -го етапу ТД (9), береться із спостережень, при цьому передбачається однакова навченість особового складу, що застосовує засоби ТД. Результати кількісного оцінювання O наведено на рисунку 4.

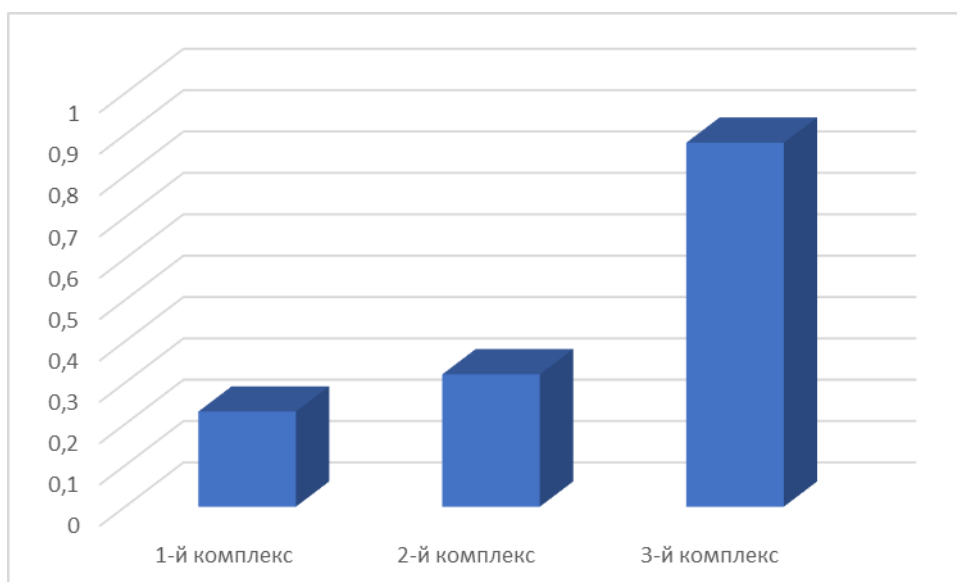


Рисунок 4 – Результати кількісного оцінювання показника оперативності O

Як видно на рисунку 4, перспективний засіб діагностування на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик КС має істотні переваги за показником оперативності порівняно з іншими комплексами засобів, що може стати вирішальним чинником під час реалізації експлуатаційного ТД КС.

Кількісне оцінювання показника економічності являє собою доволі складне завдання, що зумовлене динамікою змінювання вартості виробів та послуг і (частково) відсутністю цих даних у

відкритому доступі у зв'язку з умовами контрактів, які укладаються між органами військового управління та промисловими підприємствами. З огляду на це у дослідженні використано приблизні цінові (вартісні) показники станом на початок 2025 р. як середні значення діапазонів цін комерційних пропозицій виробничих і торговельних підприємств, які спеціалізуються на продажу засобів вимірювання цивільного призначення і товар яких має характеристики, що є близькими до їх аналогів військового призначення.

Для кількісного оцінювання показника економічності E приймемо $C_{зад}$ на рівні, який відповідає мінімальній закупівельній вартості одного комплекту засобів ТД з усіх трьох комплексів, що розглядаються у цій статті. Результати кількісного оцінювання E наведено на рисунку 5.

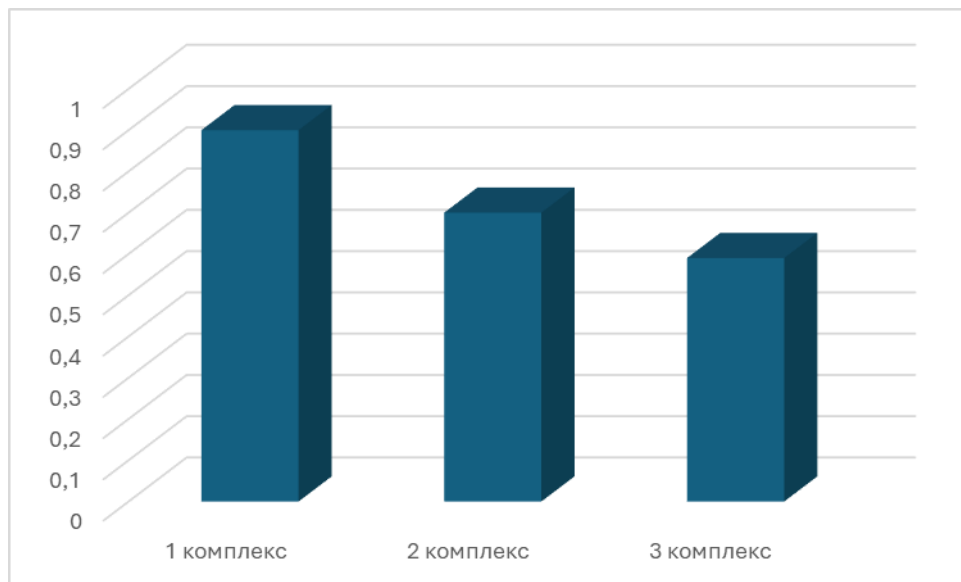


Рисунок 5 – Результати кількісного оцінювання показника економічності E

Із аналізу рисунка 5 випливає, що значною (хоча й не критичною) перевагою вирізняється перший комплекс порівняно з двома іншими, які мають сумірні значення показника економічності. Утім під час створення і застосування комплексу засобів ТД КС (як і інших технічних систем військового призначення) показник економічності може розглядатися як допоміжний (другорядний) стосовно до показників інформативності й оперативності, а витрати (на закупівлю, експлуатацію, обслуговування тощо) можуть вважатися прийнятними, якщо вони перебувають у границях заданих обмежень.

Для узагальнення результатів проведеного кількісного оцінювання показників ефективності засобів ТД КС подамо їх у вигляді пелюсткової діаграми. Значення показників інформативності, оперативності й економічності відкладаються на відповідних трьох осях, кут між якими становить 120° (рисунк 6).

Із наведеної діаграми видно, що діагностичний комплекс на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик КС характеризується істотною перевагою порівняно з іншими комплексами, про що свідчать як максимальні серед можливих значення показників інформативності й оперативності, так і в максимум площі відповідного трикутника, вершинами якого є значення трьох показників, відкладені на осях I, O, E (площа фігури, вершини якої відповідають значенням показників за осями пелюсткової діаграми, може розглядатися як скаляризований узагальнений показник ефективності системи).

Це дає змогу зробити висновок про перспективність застосування лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик каналів стволів у процесі створення діагностичного комплексу для реалізації експлуатаційного технічного діагностування каналів стволів вогнепальної зброї.

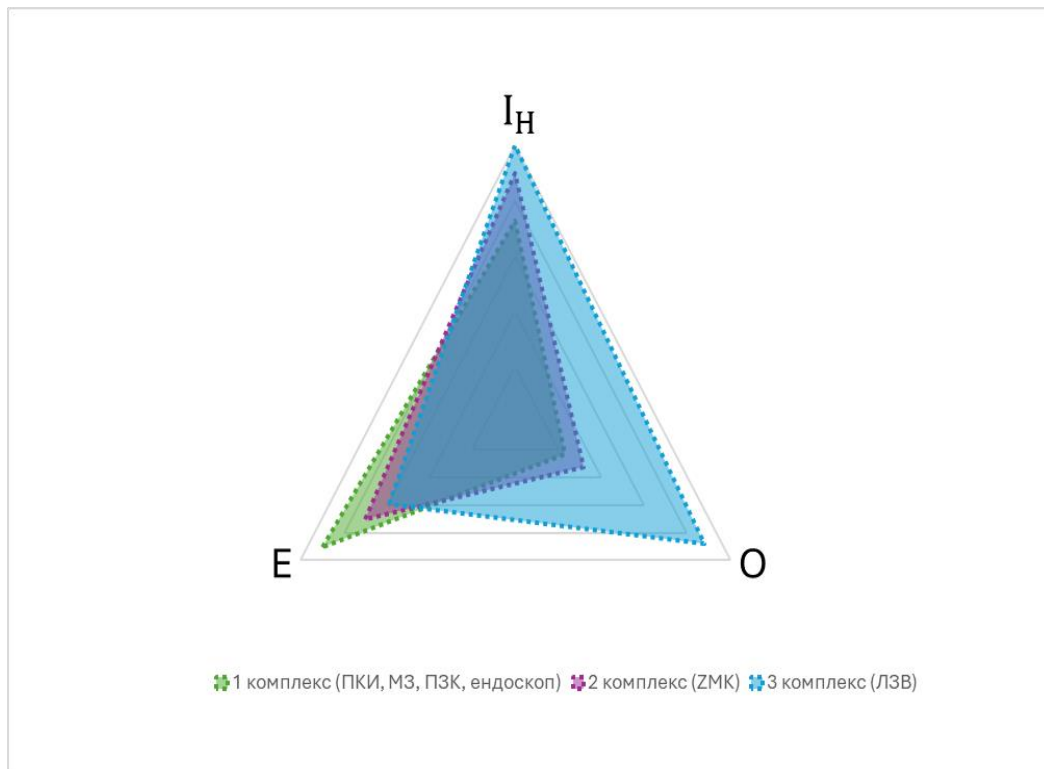


Рисунок 6 – Подання результатів кількісного оцінювання показників ефективності у вигляді пелюсткової діаграми під час реалізації технічного діагностування з метою визначення місця розташування і характеру несправності

Висновки

У статті розглянуто методичний підхід до формування переліку і кількісного оцінювання показників ефективності засобів експлуатаційного технічного діагностування каналів стволів вогнепальної зброї. Запропоновано оцінювати ефективність на основі дослідження таких властивостей засобів технічного діагностування каналів стволів, як інформативність, оперативність та економічність.

На підґрунті основних положень теорії масового обслуговування запропоновано вирази для оцінювання показника інформативності засобів технічного діагностування під час здійснення операції контролю технічного стану каналів стволів. Такий показник визначається як імовірність прийняття вірного висновку про технічний стан каналів стволів за результатами контролю. З огляду на незручність використання відповідних інтегральних рівнянь відзначено доцільність застосування графоаналітичного способу визначення інформативності за допомогою спеціальних номограм. У випадку реалізації технічного діагностування для визначення місця розташування і характеру несправності запропоновано показник інформативності визначати з урахуванням спроможності засобів діагностування до ідентифікації певних значущих дефектів каналів стволів із переліку, встановленого виробником зразка зброї. При цьому окремі бали показнику інформативності надаються як за спроможність установлення самого факту наявності певного дефекту, так і за спроможність з визначення кількісних оцінок ступеня його прояву.

Запропоновано вираз для показника оперативності, який урахує заданий граничний час на виконання технічного діагностування каналів стволів, реальні працевтрати на здійснення діагностичних операцій, технічні характеристики засобів технічного діагностування та компетентності оператора.

Одержано вираз для показника економічності засобу технічного діагностування, який характеризує обсяг ресурсів, необхідних для його закупівлі, та витрат на його експлуатацію і подальшу утилізацію. Під час синтезу виразу для показника економічності враховано кількість засобів вимірювання, що можуть входити до комплексу засобів діагностування, а також взято до уваги витрати на всіх етапах життєвого циклу таких засобів.

Для забезпечення порівнянності і наочності показників ефективності вирази для кількісного оцінювання забезпечують їх перебування у діапазоні можливих значень [0; 1] для будь-яких сполучень засобів та умов проведення технічного діагностування, при цьому у разі збільшення ефективності значення показника зростає.

Проведено кількісне оцінювання показників інформативності, оперативності й економічності трьох засобів технічного діагностування каналів стволів, зокрема, комплексу на основі приладів ПЗК, ПКІ (МЗ) та ендоскопа, закордонного діагностичного комплексу *Zistos Measuring Kit* та перспективного діагностичного комплексу на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик каналів стволів.

Установлено, що діагностичний комплекс на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик каналів стволів характеризується істотними перевагами порівняно з іншими комплексами, про що свідчать максимальні серед порівнюваних значення його показників інформативності й оперативності у разі несуттєвого відставання за показником економічності.

Отже, доведено переваги й перспективність застосування лазерного триангуляційного засобу вимірювання геометричних характеристик каналів стволів у процесі створення діагностичного комплексу для реалізації експлуатаційного технічного діагностування каналів стволів вогнепальної зброї.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення методичних підходів до опрацювання вимірювальної інформації про геометричні характеристики каналів стволів, які можуть бути отримані за допомогою перспективного засобу технічного діагностування на базі лазерного триангуляційного засобу вимірювання.

Перелік джерел посилання

1. Муленко О. О., Зюбан М. І., Бондаренко С. В. Залежність живучості стволів стрілецької зброї від застосування патронів післягарантійних термінів зберігання. *Молодий вчений*. 2023. № 2 (114). С. 1–4. DOI: <https://dx.doi.org/10.32839/2304-5809/2023-2-114-1>.
2. Крюков О. М., Мельніков Р. С., Музичук В. А. Метод діагностування технічного стану каналів стволів та боеприпасів на основі ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків : НА НГУ, 2018. Вип. 2 (32). С. 5–11.
3. Крюков О. М., Мудрик В. Г. Перспективи експериментального визначення балістичних елементів пострілу. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2013. Вип. 1 (21). С. 21–24.
4. Крюков О. М., Александров О. А. Шляхи підвищення точності моделювання внутрішньобалістичних процесів. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2009. Вип. 1. С. 11–14.
5. Крюков О. М., Мігура О. О. Метод технічного діагностування каналів стволів вогнепальної зброї на основі визначення їх геометричних характеристик. *Честь і закон*. 2023. № 3 (86). С. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2023/3/86/287124>.
6. ДСТУ 2389:1994. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення [Чинний від 01.01.1995]. Київ : Держстандарт України, 1994. 28 с.
7. ДСТУ В 15.602:2022. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Ремонт озброєння та військової техніки. Основні положення. Класифікація [Чинний від 01.10.2023]. Київ: Держстандарт України, 2022. 15 с.
8. Черніченко Ю. М. Основи організації ремонту стрілецької зброї та засобів ближнього бою : навч. посіб. Харків : НА НГУ, 2016. Ч. 1. 140 с.
9. Довідник офіцера артилерійського підрозділу : навч. посіб. / М. М. Ляпа та ін. Суми : СумДУ, 2013. 588 с.
10. Large Gun Video Borescope – Zistos Portable Video Systems. URL: <https://zistos.com/large-bore-inspection/gbc/> (accessed: 16.11.2024).
11. Боровик О. В., Трасковецька Л. М., Боровик Л. В. Особливості оцінки ефективності технічних систем за допомогою графоаналітичних діаграм. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*. Київ : ВІ КНУ, 2013. Вип. 43. С. 10–16.

12. Рагулін С. В., Сироїжка І. О. Аналіз показників та критеріїв ефективності системи технічної експлуатації радіоелектронних навігаційних систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2019. Т. 5. № 57. С. 3–6.
13. Yakovlev M. Y., Ryzhov Y. V., & Kravchenko T. A. Уточнений комплекс показників ефективності метрологічного обслуговування засобів зв'язку Сухопутних військ. *Військово-технічний збірник*. 2012. Вип. 7. С. 125–133. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.7.2012.125-133>.
14. Andersson K., Bang M., Marcus C., Persson B., Stureson P. Military utility: A proposed concept to support decision-making. *Technology in society*. No. 43. November 2015. P. 23–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.07.001>.
15. Facchinetti T., Citterio G. Application of the Overall Equipment Effectiveness to a Service Company. *IEEE Access*. 2022. No. 10. P. 106613–106640. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3211266>.
16. Lisbeth del Carmen Ng Corrales, María Pilar Lambán, Mario Enrique Hernandez Korner, Jesús Rojo. Overall Equipment Effectiveness: Systematic Literature Review and Overview of Different Approaches. *Applied Sciences*. 2020. No. 10 (18):6469. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10186469>.
17. Understanding Effectiveness Evaluation: Definition, Benefits, and Best Practices. URL: <http://surl.li/wdqipc> (accessed: 15.01.2025).
18. Крюков О. М., Флорін О. П. Основи метрологічного забезпечення : навч. посіб. Харків : ХНАДУ, 2010. 208 с.
19. Крюков О. М. Метрологічне забезпечення випробувань і контролю параметрів озброєння та спеціальної техніки : навч. посіб. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2012. 200 с.
20. Крюков О. М., Мігура О. О. Математичне моделювання та аналіз технологічної похибки засобу вимірювання геометричних характеристик каналів стволів вогнепальної зброї. *Честь і закон*. 2024. № 1 (88). С. 71–81. DOI: <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2024/1/88/302247>.
21. Про затвердження Інструкції про порядок категорювання ракетно-артилерійського озброєння : наказ МВС України від 08.11.2017. № 912. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1452-17#Text> (дата звернення: 16.01.2025).

Стаття надійшла до редакції 01.03.2025 р.

UDC 623.482

О. Kriukov, Н. Silin, О. Migura

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TECHNICAL DIAGNOSTIC TOOLS FOR FIREARMS BORES

The work is devoted to the development of a methodological approach to quantifying the effectiveness of technical diagnostics of firearms bores.

The problem of the lack of a type of technical diagnostics of firearms barrel channels that would meet the conditions of modern warfare is highlighted. The relevance of including operational technical diagnostics in the general system of measures for technical diagnostics of weapons is considered. An approach to the selection of appropriate tools based on the assessment of their effectiveness is proposed.

The article analyzes publications that discuss approaches to assessing the effectiveness of technical systems for various purposes, including military use. The limitations that do not allow direct application of the known research results to solve the identified problematic issue are identified.

A methodological approach to evaluating the effectiveness of tools for technical diagnosis of firearms bores is proposed, which involves the introduction of partial indicators of the effectiveness of tools for technical diagnosis of barrel channels, namely, indicators of information performance, operating time, efficiency (cost-effectiveness). The expressions for estimating such indicators for various arbitrarily selected complexes of technical diagnostic tools are obtained.

A quantitative evaluation of performance indicators for several samples of traditional and promising means of technical diagnostics of barrel channels of domestic and foreign production was carried out. It has been determined that the diagnostic complex based on a laser triangulation tool for measuring the geometric

characteristics of the barrel channel is characterized by a combination of performance indicators that indicates its significant advantages over other technical diagnostic tools.

Keywords: *barrel, bore, effectiveness evaluation, efficiency evaluation, efficiency of diagnosis, technical diagnosis, technical state inspection, barrel bore defect.*

Крюков Олександр Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри управління логістикою оперативного факультету, Національна академія Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0003-4194-6081>

Сілін Григорій Вікторович – ад'юнкт, Національна академія Національної гвардії України
<https://orcid.org/0009-0008-2059-3962>

Мігура Олексій Олександрович – старший викладач кафедри вогневої підготовки факультету логістики, Національна академія Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0003-0327-9839>