УДК 623.4:681.5:004.93

Є. В. Добринін

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ГАРМАТНОГО СТВОЛА ТА ПОРОХОВОГО ЗАРЯДУ ЗА ІНФОРМАЦІЙНИМИ ОЗНАКАМИ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

Анотація. *Узагальнено принципи багатоканального оцінювання стану гарматного ствола та порохового заряду. Розглянуто фізичне обгрунтовання інформаційних ознак, узгодження акустичних і оптоелектронних даних, урахування невизначеності та перевірку достовірності висновків. Підкреслено необхідність розмежування безпосередніх спостережень і модельних оцінок, а також обмеженість перенесення експериментальних результатів на інші умови.*

Ключові слова: *багатоканальне оцінювання; гарматний ствол; пороховий заряд; інформаційні ознаки; невизначеність.*

Abstract. *General principles of multichannel assessment of gun barrel and propellant charge condition are summarized. The discussion covers the physical validity of information features, consistency of acoustic and optoelectronic data, uncertainty, and verification of diagnostic conclusions. The distinction between direct observations and model-based estimates is emphasized, together with the limits of generalizing experimental findings to other conditions.*

Keywords: *multichannel assessment; gun barrel; propellant charge; information features; uncertainty.*

Постановка проблеми. Оцінювання якості гарматного ствола та порохового заряду пов’язане з необхідністю інтерпретувати різнорідну й неповну інформацію про їхній фактичний стан. У межах цієї доповіді якість розглядається в діагностичному аспекті: як відповідність досліджуваних характеристик прийнятому опису стану з урахуванням достовірності даних. Така оцінка не тотожна вичерпній перевірці всіх властивостей об’єктів дослідження – ствола та заряду. Основою узагальнення є праці з акустичного діагностування й розпізнавання стану гарматного ствола [1–4]. Питання стану порохового заряду розглянуто з урахуванням досліджень фізичних процесів та модельного оцінювання [5–7].

Вирішенні завдання. Автором було проведено дослідження щодо систематизації загальних принципів інформаційного забезпечення оцінювання стану гарматного ствола та порохового заряду за ознаками різної фізичної природи. Такий підхід пов’язаний з удосконаленням діагностичного забезпечення зразків артилерійського озброєння та обгрунтованням висновків про їхній стан.

Спостереження за допомогою акустичних та оптоелектроних сенсорів (датчиків, систем) розглядаються як взаємодоповнювальні джерела відомостей про один фізичний процес. Записи акустичних полів артилерійського пострілу характеризують його хвильові прояви, а результати відеофіксації польоту снаряду на початковій ділянці траєкторії – видимі просторово-часові зміни дульного викиду та параметри руху снаряду. Інформативність кожної з ознак визначається її зв’язком із досліджуваним станом і стійкістю інтерпретації. Наявність відмінностей між сигналами сама по собі ще не доводить причини цих відмінностей. Фізичні основи акустичних спостережень розглянуто в [2], а модельний зв’язок стану порохових газів із проявами термодінамічного процесу – у [5, 7].

Стан ствола та стан заряду утворюють пов’язані, але різні складові діагностичного опису. Зміни параметрів у процесі здійснення пострілу можуть залежати від обох складових і від умов спостереження. Тому результат аналізу окремої ознаки не слід, без додаткового обгрунтування, ототожнювати виключно зі зношенням внутрішньої поверхні каналу гарматного ствола або виключно зі зміною властивостей порохового заряду. Оцінювання ствола пов’язано з аналізом акустичних полів і результатами відеофікасації польоту снаряду; для заряду – розглянуто непряме визначення його фактичного стану на основі фізичної моделі формування та розповсюдження в атмосфері дульного викиду й його характеристик на основі візуального оцінювання.

Узгоджене використання каналів: акустичного та опто-електронного,– передбачає віднесення спостережень до однієї події, врахування часу отримання та фізичного змісту даних. Разом із результатом мають зберігатися відомості про його джерело, умови одержання,

невизначеність і область використання. Цей принцип забезпечує простежуваність переходу від первинних записів до діагностичного висновку. Без такого опису числові оцінки, отримані з різних вимірювальних каналів можуть виявитися таким, що не підлягають порівнянню. Математичне представлення процесів спирається, зокрема, на апроксимаційні моделі об'єкта [8]. Багатоканальність, у розглянутому підході, означає фізично узгоджену інтерпретацію відомостей, а не механічне збільшення їх кількості. Концепція спільного використання акустичної та оптичної інформації стосується класифікації стану ствола [4]. Погодженість результатів вимірювань, отриманих з різних каналів, потребує перевірки оскільки, розбіжності між оцінками можуть бути зумовлені тим, що акустичний та оптичний канали реєструють різні фізичні характеристики процесу пострілу, а також похибками вимірювань і обмеженнями застосованих моделей. Спільне походження сигналів не дозволяє автоматично вважати похибки каналів статистично незалежними. Інформаційні технології класифікації та поєднання фізичних полів розглянуто в [3, 4].

Під час оцінювання стану порохового заряду розрізняють номінальні характеристики та фактичний стан, який оцінюється за непрямою інформацією. Така оцінка залежить від припущень моделі й повноти вихідних даних. Водночас результати відеофіксації дають уяву про геометрію (топологію) дульного викиду та його структуру у часі, але не визначають кількісного складу й температури продуктів згоряння. Отже, відеофіксацію результатів спостереження за дульним викідом не можна подавати як самостійне підтвердження повноти та якості визначення фізико-хімічного стану порохового заряду. Модельні підходи до визначення складу й енергетичних характеристик викладено в [6, 7].

Діагностичний висновок має відповідати інформаційним можливостям спостережень. При цьому враховуються геометричні, часові та модельні обмеження, а також обмеження щодо незалежного підтвердження результатів. Розбіжність двох оцінок характеризує їх узгодженість, але сама по собі не встановлює абсолютної похибки кожної. Аналогічно, відтворення картини спостережень моделлю не є достатньою підставою для твердження про однозначне визначення всіх прихованих параметрів.

Перевірка передбачає аналіз правильних і помилкових рішень класифікації. Це дозволяє відокремити загальну частку правильних висновків від різних видів помилок. Експериментальні результати стосуються конкретних наборів даних та умов спостереження. Обмежений обсяг експерименту не дає підстав установлювати універсальні метрологічні характеристики. Тому в цих тезах не заявляються загальні числові пороги або гарантована точність оцінювання якості гарматного ствола та порохового заряду. Методичну основу класифікації становлять праці з машин опорних векторів [9, 10].

Висновки. Чим більше інформативних, взаємодоповнювальних ознак різної фізичної природи виміряно або визначено, за умови відповідності встановленим вимогам щодо їх якості та оперативності, тим точнішими та достовірнішими можуть бути дані про стан гарматного ствола та якість (властивості) порохового заряду. Цей висновок узагальнює підхід до спільного використання фізичних полів різної природи походження [2–4] і модельного опису стану порохового заряду [5–7]. Підвищення точності пов'язане з надходженням додаткової достовірної інформації, узгодженої за часом і фізичним змістом – збільшення кількості дубльованих, зашумлених або ознак, які надані зі значним затриманням у часі, такого результату не гарантує. Отже, повноту інформаційного опису слід розглядати разом із якістю даних, своєчасністю їх отримання та перевіркою діагностичного висновку.

Список використаних джерел:

1. Dobrynin Y., Maksymov M., Boltenkov V. Development of a method for determining the wear of artillery barrels by acoustic fields of shots. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3, No. 5 (105). P. 6–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.206114.

2. Dobrynin Y., Volkov V., Maksymov M., Boltenkov V. 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. 2020. Vol. 4, No. 5 (106). P. 6–15. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209847.

3. Dobrynin Y. V., Boltenkov V. O., Maksymov M. V. Information technology for automated assessment of the artillery barrels wear based on SVM classifier. Applied Aspects of Information Technology. 2020. Vol. 3, No. 3. P. 117–132. DOI: 10.15276/aait.03.2020.1.

4. Dobrynin Y. V., Boltenkov V. O., Kuzmenko V. V., Maksymov O. M. Development of a universal binary classifier of the state of artillery barrels by the physical fields of shots. Applied Aspects of Information Technology. 2022. Vol. 5, No. 4. P. 289–302. DOI: 10.15276/aait.05.2022.19.

5. Brunetkin O., Maksymov M., Brunetkin V., Maksymov O., Dobrynin Y., Kuzmenko V., Gultsov P. Development of the model and the method for determining the influence of the temperature of gunpowder gases in the gun barrel for explaining visualize of free carbon at shot. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4, No. 1 (112). P. 41–53. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239150.

6. Brunetkin O., Maksymov M., Dobrynin Y., Demydenko V., Sidelnykov O. Development of a process model for determining the composition and energy characteristics of a pyrotechnic mixture using the library method. EUREKA: Physics and Engineering. 2024. No. 5. P. 99–112. DOI: 10.21303/2461-4262.2024.003453.

7. Brunetkin O., Sidelnykov O., Maksymov M., Dobrynin Y. Improving the model for determining the composition of gunpowder gases during thermal destruction of gunpowder in a limited volume space. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 3, No. 6 (135). P. 35–45. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330654.

8. Brunetkin O., Beglov K., Brunetkin V., Maksymov O., Maksymova O., Havaliukh O., Demydenko V. Construction of a method for representing an approximation model of an object as a set of linear differential models. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6, No. 2 (108). P. 66–73. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220326.

9. Suykens J. A. K., Van Gestel T., De Brabanter J., De Moor B., Vandewalle J. Least Squares Support Vector Machines. Singapore : World Scientific, 2002. DOI: 10.1142/9789812776655.

10. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. Support Vector Machines. An Introduction to Statistical Learning. New York, NY : Springer, 2013. Vol. 103. DOI: 10.1007/978-1-4614-7138-7_9.

Добринін Євгеній Вікторович – кандидат технічних наук, начальник факультету Інституту Військово-Морських Сил Національного університету "Одеська морська академія", м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, інд. 65052, E-mail: 20artuxa62@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2777-3137

Yevhenii Viktorovych Dobrynin – Candidate of Technical Sciences, Head of Faculty, Naval Institute of the National University "Odesa Maritime Academy", Odesa, 8 Didrikhsona Street, postal code 65052, Ukraine. E-mail: 20artuxa62@gmail.com. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2777-3137