

В. В. Мошаренков, І. О. Коваленко, С. С. Нечипорчук

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ ЗАМІНИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ЗРАЗКАХ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. Запропоновано підхід до визначення пріоритетності заміни засобів вимірювальної техніки обмінним фондом в умовах обмежених ресурсів. Підхід враховує технічний стан ЗВТ, терміновість заміни, критичність об'єкта, інтенсивність експлуатації та інші фактори, що дає змогу сформулювати обґрунтовану черговість заміни та підвищити ефективність використання обмінного фонду.

Ключові слова: засоби вимірювальної техніки, машинне навчання, метрологічне обслуговування, обмінний фонд, штучний інтелект.

Abstract. An approach to determining the priority of replacing measuring instruments from the exchange fund under limited-resource conditions is proposed. The approach takes into account the technical condition of measuring instruments, replacement urgency, the criticality of the operational asset, intensity of use, and other factors, enabling the establishment of a justified replacement sequence and improving the efficiency of exchange fund utilization.

Keywords: measuring instruments, machine learning, metrological maintenance, exchange fund, artificial intelligence.

Сучасні зразки озброєння та військової техніки (ОВТ), зокрема наземні роботизовані комплекси (НРК), що надходять до Збройних Сил України, являють собою складні кіберфізичні системи. Забезпечення їх безвідмовної роботи потребує високого рівня автоматизації процесів обслуговування та ремонту. Оскільки функціонування таких систем критично залежить від точності вимірювальної інформації, яка забезпечує достовірність первинних даних та стабільність контурів керування, ключову роль у підтримці їхньої працездатності відіграє метрологічна складова. Системоутворюючим елементом зазначеного процесу постає метрологічне обслуговування виробів ОВТ, яке являє собою координований комплекс діагностичних заходів із вимірювання та контролю функціональних параметрів виробів, апаратури й спеціальних пристроїв з метою обґрунтування потреби в їх подальшому налаштуванні, регулюванні або відновленні працездатності [1].

Водночас працездатність самого вимірювального обладнання є критичною передумовою збереження функціональності всієї системи. Відповідно, будь-яка втрата точності, вихід за межі допусків або відмова засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) у складі автоматизованих систем управління НРК призводить до деградації функцій керування та зниження боєздатності комплексу. Відповідно до ВСТ 01.210.009–2022 (03) [1], підтримання встановленого рівня готовності ОВТ здійснюється шляхом оперативної заміни ЗВТ з обмінного фонду. Проте в умовах інтенсивного навантаження під час бойових дій інтенсивність експлуатації та ризики бойових пошкоджень створюють сплески одночасних потреб у заміні ЗВТ, що перевищує спроможність системи обслуговування за наявних обмежень на матеріальні, людські та логістичні ресурси.

Виникнення таких диспропорцій зумовлює необхідність відходу від класичних алгоритмів обслуговування та потребує впровадження інтелектуальних методів керування ресурсами. У зв'язку з цим, для математичної формалізації функціонування автоматизованої системи підтримки ухвалення рішень (СПУР), задачу оптимізації розподілу обмежених ресурсів обмінного фонду (ОФ) сформульовано як багатофакторну задачу машинного навчання [2]. Вона передбачає класифікацію заявлених потреб за рівнями критичності з їх подальшим багатокритеріальним ранжуванням [2]. Такий підхід дає змогу перейти від суб'єктивного оцінювання стану ЗВТ до об'єктивного обчислення інтегрального пріоритету заміни на основі різномірних вхідних ознак у режимі реального часу.

Метою дослідження є підвищення ефективності використання ОФ ЗВТ шляхом розроблення інтелектуального методу багатокритеріального ранжування заявок на заміну на основі алгоритмів штучного інтелекту (ШІ).

Інформаційною базою аналітичної моделі є вимірювальні дані про метрологічний стан ЗВТ та оперативні відомості про умови експлуатації ОВТ, що охоплюють: вимірювальні похибки й відмови; залишковий ресурс та міжповітряний інтервал; інтенсивність застосування й факти пошкоджень; рівень резервування та допустимий час простою; тривалість замінно-логістичного циклу; критичність ОВТ для системи управління та директиви вищого рівня [1].

Використання методів ШІ у складних технічних системах військового призначення є критично важливим чинником, оскільки класичні детерміновані алгоритми не здатні ефективно опрацьовувати високовимірні, нелінійні та динамічно-змінювані масиви даних в умовах невизначеності [2]. Застосування ШІ дає змогу виявляти приховані закономірності між метрологічними характеристиками ЗВТ та оперативно-тактичною обстановкою, мінімізувати вплив людського фактора під час дефіциту часу та адаптувати процес розрахунку пріоритетів до інтенсивності бойових дій.

Для практичної реалізації інтелектуального ядра автоматизованої системи обрано алгоритми машинного навчання: *Random Forest* [3] та *XGBoost* [4], які дають змогу здійснювати багатофакторний аналіз даних і забезпечують швидкодію в задачах ухвалення рішень у режимі реального часу. Разом з тим, застосування моделей машинного навчання у критично важливих сферах вимагає відходу від концепції “чорної скриньки” для запобігання помилковим рішенням. З метою забезпечення прозорості, верифікованості та інтерпретованості дій автоматики до аналітичного контуру інтегровано метод *SHAP* (*SHapley Additive exPlanations*) [5]. Він розраховує ваговий внесок кожного вхідного фактора у підсумковий рівень пріоритету, що дає змогу особі, яка ухвалює рішення, чітко розуміти фізичну та оперативну логіку сформованого рекомендаційного переліку [5].

Практичним результатом застосування запропонованого підходу є формування для кожної заявки на заміну ЗВТ інтегрального показника пріоритетності, який визначається з урахуванням сукупності метрологічних, експлуатаційних та організаційно-логістичних факторів. На відміну від статичного визначення черговості замін, запропонована модель забезпечує динамічний перерахунок пріоритетів у разі зміни вхідних даних, зокрема появи нових відмов, зміни залишкового ресурсу, зростання інтенсивності експлуатації або зміни критичності відповідного зразка ОВТ. Таким чином, система може оперативно адаптувати рекомендаційний перелік до поточного стану обмінного фонду та експлуатаційної ситуації, забезпечуючи більш обґрунтоване використання наявних ресурсів.

У межах розробленої математичної моделі СПуР реалізовано алгоритм ШІ, який здійснює багатовимірний аналіз вхідних параметрів кожної заявки та розраховує інтегральний показник її пріоритетності [2]. Це дозволяє СПуР автоматично будувати впорядковану чергу виконання замін ЗВТ у режимі реального часу.

Автоматизація процесів управління метрологічним обслуговуванням постає визначальною умовою збереження функціональності та боєздатності сучасних зразків ОВТ. Застосування алгоритмів машинного навчання (*Random Forest*, *XGBoost*) у поєднанні з інструментами пояснюваного штучного інтелекту (*SHAP*) дозволяє ефективно формалізувати та вирішити задачу раціонального розподілу обмежених ресурсів ОФ ЗВТ у режимі реального часу. Це забезпечує підвищення загального рівня боєготовності складових сил оборони і мінімізує суб’єктивізм під час ухвалення управлінських рішень у сфері метрологічного забезпечення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ВСТ 01.210.009 – 2022 (03). Порядок формування обмінних фондів засобів вимірювальної техніки. Методика розрахунку номенклатури та обсягу.[Чинний від 2022-02-11]. Вид. офіц. Київ, 2022. 16с.
2. Wang Z., Lim T., Baydaş M., Stević Ž., Yu Y., Liu V. A Machine Learning Approach to Multi-Criteria Decision-Making via Peer-Prediction Trees and Excess Performance Evaluation. *Algorithms*. 2026. Vol. 19, No. 9. Art. 762. DOI: [10.3390/a19090762](https://doi.org/10.3390/a19090762)

3. Salman H. A., Kalachek A., Steiti A. Random Forest Algorithm Overview. Babylonian Journal of Machine Learning. 2024. P. 69–79. DOI: [10.58496/BJML/2024/007](https://doi.org/10.58496/BJML/2024/007).
4. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2016. P. 785–794. DOI: [10.1145/2939672.2939785](https://doi.org/10.1145/2939672.2939785)
4. Salih A. M., Raisi-Estabragh Z., Galazzo I. B., Radeva P., Petersen S. E., Lekadir K., Menegaz G. A Perspective on Explainable Artificial Intelligence Methods: SHAP and LIME. Advanced Intelligent Systems. 2025. Vol. 7, No. 1. Article 2400304. DOI: [10.1002/aisy.202400304](https://doi.org/10.1002/aisy.202400304).

Мошаренков Віктор Васильович – кандидат технічних наук доцент, доцент кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: mosharenkov@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6968-0863>

Коваленко Іван Олександрович – слухач магістратури Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61023, e-mail: kovalenkoivan756@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6968-0863>

Нечипорчук Софія Сергіївна – курсант університету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І.Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд 77/79, інд 61023, e-mail: sonia27lalala@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0001-3248-4666>

Mosharenkov Viktor Vasylovych – Candidate of Technical Science, Associate Professor Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023, e-mail: mosharenkov@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6968-0863>

Kovalenko Ivan Oleksandrovych – Undergraduate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023, e-mail: kovalenkoivan756@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6968-0863>

Nechyporchuk Sofia Serhiivna – Cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., ind. 61023, e-mail: sonia27lalala@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0009-0001-3248-4666>