УДК 004.8:004.032.26

С. І. Хмелевський, І. М. Большакова

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТІ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. *Розглянуто можливості методів кластеризації для аналізу даних, що накопичуються під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту озброєння і військової техніки (ОВТ). Обґрунтовано доцільність застосування нечіткої кластеризації для групування діагностичних ознак за умов невизначеності та перехідних станів. Окреслено потенційне використання результатів кластерного аналізу для підтримки оцінювання технічного стану й планування обслуговування. Запропонований підхід потребує перевірки на репрезентативних даних конкретних зразків ОВТ.*

Ключові слова: *кластеризація, нечіткі с-середні, технічний стан, діагностика, прогнозне обслуговування, озброєння та військова техніка.*

Abstract. *The paper considers clustering methods for analyzing data collected during the operation, maintenance and repair of weapons and military equipment. Fuzzy clustering is highlighted as a useful approach to grouping diagnostic features under uncertainty and transitional operating conditions. Potential applications include technical-condition assessment and maintenance planning support. The approach requires validation using representative data from specific equipment systems.*

Keywords: *clustering, fuzzy c-means, technical condition, diagnostics, predictive maintenance, weapons and military equipment.*

Вступ

Експлуатація ОВТ супроводжується накопиченням різнорідних даних: параметрів роботи агрегатів, результатів оглядів і діагностики, записів про відмови, умов використання та виконаних ремонтів. Їх комплексний аналіз може сприяти виявленню типових режимів роботи й ознак погіршення технічного стану. Водночас дані часто є неповними, зашумленими, а межі між справним, перехідним і критичним станами – нечіткими. Тому актуальним є дослідження методів, здатних враховувати неоднозначність спостережень [1-3]. Мета роботи – узагальнити можливості чіткої та нечіткої кластеризації для попереднього аналізу експлуатаційних даних ОВТ.

Результати дослідження

У задачах технічного обслуговування нечітку кластеризацію можна розглядати як інструмент пошуку груп подібних діагностичних профілів, зіставлення їх із журналами обслуговування та виявлення нетипових спостережень. Подібні підходи до кластеризації станів машин і моніторингу обладнання досліджуються у сфері діагностики та прогнозного обслуговування [2–4]. Водночас кластер сам по собі не є підтвердженим діагнозом: його інтерпретація має спиратися на фізичний зміст параметрів, технічну документацію та оцінку фахівців.

Кластеризація – метод навчання без наставника (не є окремим типом навчання), за якого об’єкти об’єднуються у групи за подібністю обраних ознак. Для ОВТ такими ознаками можуть бути вібрація, температура, тиск, споживаний струм, напрацювання, частота відмов або інші доступні параметри. До результату істотно впливають масштабування ознак, метрика відстані, якість даних і спосіб вибору кількості кластерів [1, 2].

Метод с-середніх формує чіткі групи навколо центрів і може бути ефективним для первинного структурування однорідних спостережень. Однак кожне спостереження належить лише до одного кластера, що обмежує відображення перехідних станів. Нечіткі с-середні визначають ступінь належності об’єкта до кожного кластера; це дає змогу описувати ситуації, коли виміряні параметри одночасно мають ознаки кількох станів. Метод Густафсона-Кесселя

додатково враховує форму та орієнтацію кластерів через адаптивну метрику, що може бути корисним для даних із різною кореляцією ознак [1, 4].

Практична реалізація виконується за допомогою мови програмування Python та бібліотек scikit-learn, pandas і matplotlib для опрацювання даних, машинного навчання та візуалізації результатів, передбачає перевірку повноти й достовірності вимірювань, оброблення пропусків та аномалій, приведення ознак до порівнюваного масштабу, вибору алгоритму й оцінювання стійкості результатів. Доцільно порівнювати кілька методів і перевіряти, чи зберігаються сформовані групи за зміни вибірки. Організація збору, оброблення та подання діагностичної інформації має узгоджуватися із загальними принципами систем моніторингу технічного стану машин [5]. Наведені можливості є напрямом практичного застосування, а не твердженням про вже проведені випробування на реальних даних ОВТ.

Висновки

Методи кластеризації можуть доповнювати аналітичні засоби оцінювання технічного стану ОВТ. Метод с-середніх доцільний для базового групування, тоді як нечіткі с-середні та метод Густафсона-Кесселя перспективні для аналізу неоднозначних і перехідних станів. Подальша робота має передбачати перевірку алгоритмів на верифікованих експлуатаційних даних, визначення інформативних ознак і оцінювання того, наскільки результати кластеризації покращують діагностичні рішення та планування ремонту. Використання кластеризації для аналізу складних систем, зокрема для виявлення типових режимів функціонування, оцінювання технічного стану та підтримки прийняття рішень. При поєднанні методів кластеризації з нечіткою логікою, особливо застосування нечітких с-середніх, створює можливості для визначення ступенів належності об’єктів до різних груп і подальшого формування функцій належності в системах нечіткого управління. Отже, для інтелектуального опрацювання даних можуть бути використані методи кластерного аналізу, як основа для подальшого вивчення сучасних методів машинного навчання та їх застосування в інформаційно-аналітичних системах.

Список використаних джерел:

1. Якимець Р. В. Методи кластеризації та їх класифікація. Міжнародний науковий журнал. 2016. № 6 (2). С. 48–50.
2. Surucu O., Gadsden S. A., Yawney J. Condition Monitoring using Machine Learning: A Review of Theory, Applications, and Recent Advances. Expert Systems with Applications. 2023. Vol. 221. Art. 119738. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.119738.
3. Hassan I. U., Panduru K., Walsh J. Review of Data Processing Methods Used in Predictive Maintenance for Next Generation Heavy Machinery. Data. 2024. Vol. 9, No. 5. Art. 69. DOI: 10.3390/data9050069.
4. Coates A., Ng A. Y. Learning feature representations with k-means. In: Neural Networks: Tricks of the Trade. 2nd ed. 2012. P. 561–580.
5. Деркач О. І. Аналітична обробка текстової інформації за допомогою засобів кластеризації. Молодий вчений. 2016. № 7. С. 159–165.
6. Lu Y., Li S., Fotouhi F., Deng Y., Brown S. Incremental genetic k-means algorithm and its application in gene expression data analysis. BMC Bioinformatics. 2004.
7. Gaber T., Ismail G., Anter A. et al. Thermogram breast cancer prediction approach based on Neutrosophic sets and fuzzy c-means algorithm. 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2015. P. 4254–4257.
8. ISO 13374-1:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines – Data processing, communication and presentation – Part 1: General guidelines. ISO. Confirmed 2025. https://www.iso.org/standard/21832.html.

Хмелевський Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри бойового застосування АСУ факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету

Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, 77/79, 61023; e-mail: sserg1978@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6216-3006.

Большакова Ірина Миколаївна – викладач кафедри бойового застосування АСУ факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, 77/79, 61023; e-mail: I.Bolshakova.f4@m.hnups.mil.gov.ua; ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7049-3740.

Serhii Khmelevskyi – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Combat Employment of Automated Control Systems, Faculty of Automated Control Systems and Ground Support of Aviation, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79 Sumska St., Kharkiv, 61023, Ukraine; e-mail: sserg1978@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6216-3006.

Iryna Bolshakova – Lecturer, Department of Combat Employment of Automated Control Systems, Faculty of Automated Control Systems and Ground Support of Aviation, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, 77/79 Sumska St., Kharkiv, 61023, Ukraine; e-mail: I.Bolshakova.f4@m.hnups.mil.gov.ua; ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7049-3740.