

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

I. S. Didych, Ph.D., V. V. Andrushkiv, B. V. Nazarevych

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR EQUIPMENT CONDITION CLASSIFICATION BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

Автоматизація технічної діагностики є одним із важливих напрямів розвитку сучасного промислового виробництва, оскільки надійність обладнання безпосередньо визначає ефективність технологічних процесів та стабільність роботи підприємства. У роторних машинах, зокрема, електродвигунах, насосах, турбінах, вентиляторах і компресорах, критично важливим елементом є підшипникові вузли. Саме вони забезпечують передачу обертового руху, зменшення тертя та підтримання геометричної стабільності ротора. Загалом, до 50% несправностей роторного обладнання пов'язані з підшипниками кочення. Їх руйнування може призводити до зупинки виробництва, аварійних ситуацій, значних ремонтних витрат і втрати ресурсу механізмів. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні автоматизованих систем моніторингу стану, здатних своєчасно розпізнавати відхилення в роботі підшипника та попереджати його відмови.

Методи машинного навчання (МН) відкривають нові можливості для автоматизації процесу діагностики, підвищення точності розпізнавання дефектів та зменшення часу на обробку вібраційних сигналів. На відміну від традиційних методів, моделі МН здатні самостійно виявляти приховані закономірності у даних, адаптуватися до змінних умов експлуатації обладнання та функціонувати в режимі реального часу. Це забезпечує суттєве підвищення ефективності систем технічного моніторингу, особливо за наявності великого обсягу інформації та високого рівня шумів у сигналі.

Метою роботи є розроблення та дослідження автоматизованої системи класифікації стану підшипникового вузла на основі методів машинного навчання, здатної забезпечити високу точність розпізнавання дефектів за вібраційними сигналами.

Алгоритми МН, такі як k -найближчих сусідів, опорно-векторних машин, випадкові ліси та підсилені дерева, забезпечують ефективне розділення різних типів дефектів на основі характеристик вібраційних сигналів. Тоді як нейронні мережі, зокрема, багатошарові перцептрони, дозволяють моделювати складні нелінійні залежності й досягати високої точності при роботі на великих масивах даних [1]. Загалом, машинне навчання дає змогу суттєво автоматизувати процес технічної діагностики та скоротити час аналізу вібраційних даних.

У низці сучасних досліджень показано, що методи машинного навчання здатні класифікувати стани підшипникового вузла з точністю понад 90% [2–3]. У цій роботі розглядаються такі стани: нормальний стан, дефект внутрішнього кільця (IRF), дефект зовнішнього кільця (ORF) та дефект тіла кочення (BF). Кожен із цих станів характеризує певний тип пошкодження, що проявляється у зміні вібраційних характеристик, тому саме клас стану підшипника виступає вихідною змінною моделі машинного навчання.



Рисунок 1. Типові дефекти підшипника: нормальний стан, дефект зовнішнього кільця (Outer Fault), дефект внутрішнього кільця (Inner Fault) та дефект тіла кочення (Ball Fault) [4].

В якості вхідних ознак застосували параметри, обчислені з вібраційних сигналів, зокрема статистичні (середнє значення, стандартне відхилення, RMS, асиметрія, ексцес), амплітудні (peak-to-peak, crest factor, impulse factor) та спектральні характеристики (домінантна частота, енергія у визначеній частотній смузі). Сукупність цих ознак формує інформаційний простір, на основі якого моделі машинного навчання здійснюють класифікацію станів підшипника.

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої автоматизованої системи класифікації стану обладнання, побудованої на методах машинного навчання. Висока точність розпізнавання станів підшипникового вузла, що перевищує 90%, демонструє здатність моделей МН точно відтворювати характерні особливості вібраційних сигналів та надійно визначати тип дефекту. Узгодженість модельних результатів з експериментальними даними засвідчує коректність обраної методики та її практичну значущість для підвищення надійності та ефективності роботи промислового обладнання.

Література

1. Haykin, S., 2009 “Neural Networks and Learning Machines”, Third Edition, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 938 p.
2. Raj, K. K., Kumar, S., Kumar, R. R., & Andriollo, M. (2024). Enhanced Fault Detection in Bearings Using Machine Learning and Raw Accelerometer Data: A Case Study Using the Case Western Reserve University Dataset. Information, 15(5), 259. <https://doi.org/10.3390/info15050259>.
3. Yoo Y, Jo H, Ban SW. Lite and Efficient Deep Learning Model for Bearing Fault Diagnosis Using the CWRU Dataset. Sensors (Basel). 2023 Mar 15;23(6):3157. doi: 10.3390/s23063157.
4. Masalegoo, S. E., Soleimani, A., & Saeedi Masine, H. (2022). Experimental fault detection of rotating machinery through chaos-based tools of recurrence plot and recurrence quantitative analysis. Archive of Applied Mechanics. <https://doi.org/10.1007/s00419-022-02326-8>.