

Jerzy JÓZWIK^{1*}, Dariusz MIKA¹, Paweł PIOŚ¹, Jarosław PYTKA¹, Arkadiusz TOFIL¹

¹ Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie, INTiL, ul. Pocztowa 54, 22-100 Chełm

* Adres do korespondencji: jjozwik@panschelm.edu.pl;

PROBLEMY BADAWCZE W ZAKRESIE DIAGNOSTYKI MASZYN BAZUJĄCEJ NA ALGORYTMACH ŚLEPEGO PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW

Streszczenie. Diagnostyka maszyn oparta na algorytmach ślepego przetwarzania sygnałów koncentruje się głównie na wydzielaniu składowych źródłowych (uszkodzeń) z mieszaniny sygnałów vibracyjnych i hałaśliwego tła, przy minimalnej wiedzy a priori o obiekcie. Najważniejsze problemy badawcze dotyczą modeli sygnału, odporności na zakłócenia, niedopasowania założeń oraz integracji BSP z metodami uczenia maszynowego i klasyczną diagnostyką. Kluczowe algorytmy BSP stosowane w diagnostyce to: ICA (Independent Component Analysis), BSS (Blind Source Separation), SCA (Sparse Component Analysis), NMF (Nonnegative Matrix Factorization), a także ślepa dekonwolucja i metody oparte na wartościach własnych (PCA/MCA) jako etap wstępny przetwarzania. W diagnostyce łożysk i maszyn wirnikowych, w tym obrabiarek CNC - ICA, BSS i SCA służą do separacji sygnałów w kontekście poszczególnych źródeł drgań oraz uwypuklania cech uszkodzeń współistniejących. Kluczowym wyzwaniem jest trafne sformułowanie modelu mieszania (liniowy/nieliniowy, konwolucyjny) oraz założeń o niezależności, rzadkości, niegaussowości i stacjonarności sygnałów źródłowych. Badania koncentrują się na metodach adaptacyjnych i informacji teoretycznej, które lepiej tolerują odchylenia od klasycznych założeń, np. zmieniające się warunki pracy, przejścia rozruch–ustalony–zatrzymanie i inne. Silne szумы impulsowe, modulacje od przejść konstrukcyjnych oraz aliasing wielu źródeł powodują poważne pogorszenie działania standardowych algorytmów BSS, zaś w skrajnych przypadkach separacja jest błędna. Ważnym problemem badawczym jest wiarygodność i interpretowalność: jak mapować komponenty „ślepo” wydzielone algorytmem na konkretne uszkodzenia i tryby pracy oraz jak oceniać niepewność diagnozy.

Słowa kluczowe: drgania, diagnostyka maszyn, sygnały diagnostyczne, ślepa separacja źródeł

RESEARCH PROBLEMS IN THE FIELD OF MACHINE DIAGNOSTICS BASED ON BLIND SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS

Abstract. Machine diagnostics based on blind signal processing algorithms primarily focus on isolating source components (faults) from a mixture of vibration signals and background noise, with minimal a priori knowledge of the object. Key research issues include signal models, noise immunity, assumption mismatch, and the integration of BSP with machine learning methods and classical diagnostics. Key BSP algorithms used in diagnostics include: ICA (Independent Component Analysis), BSS (Blind Source Separation), SCA (Sparse Component Analysis), NMF (Nonnegative Matrix Factorization), as well as blind deconvolution and eigenvalue-based methods (PCA/MCA) as a preprocessing step. In the diagnostics of bearings and rotating machinery, including CNC machine tools, ICA, BSS, and SCA are used to separate signals in the context of individual vibration sources and highlight the characteristics of coexisting faults. A key challenge is the accurate formulation of the mixing model (linear/nonlinear, convolutional) and the assumptions of independence, sparsity, non-Gaussianity, and stationarity of the source signals. Research focuses on adaptive methods and information theory that better tolerate deviations from classical assumptions, such as changing operating conditions, start-up-steady-stop transitions, and others. Strong impulsive noise, modulations from structural transitions, and aliasing of multiple sources cause serious performance degradation of standard BSS algorithms, and in extreme cases, separation is erroneous. A significant research problem is reliability and interpretability: how to map components "blindly" separated by the algorithm to specific faults and operating modes, and how to assess diagnostic uncertainty.

Keywords: vibrations, machine diagnostics, diagnostic signals, blind source separation