

# Metoda zautomatyzowanego wykrywania uszkodzeń dużych maszyn wirnikowych z wykorzystaniem danych ze stanów przejściowych.

Autor: Mateusz Tadeusz Zabarytło

## Streszczenie

Wykrywanie i identyfikacja uszkodzeń dużych maszyn wirnikowych jest jednym z najważniejszych zagadnień diagnostyki maszyn energetycznych dużej mocy. Czynnikiem stwarzającym duże przeszkody w analizie tak dużych obiektów badawczych jest złożoność ich odpowiedzi drganiowej dla linii wałów, składającej się z kilku części. Istnieje szereg procedur i metod pozwalających wykrywać i identyfikować anomalie podczas pracy w stanach ustalonych maszyn energetycznych. Ważniejsza pod względem diagnostyki uszkodzeń jest jednak analiza stanów przejściowych tych maszyn. Zasadniczą wadą obecnego podejścia jest konieczność angażowania ekspertów z dużym doświadczeniem, co jest bardzo kosztowne i pracochłonne.

Celem pracy było zaproponowanie kompletnego systemu automatycznej diagnostyki uszkodzeń dużych maszyn wirnikowych na bazie ich odpowiedzi w stanach przejściowych – w szczególności podczas zmiany prędkości obrotowej.

Problem badawczy, to jest detekcja i identyfikacja uszkodzeń podczas uruchomienia lub odstawienia turbosespołu dużej mocy został rozwiązany poprzez analizę szeregu badań diagnostycznych wykonanych przez autora na obiektach zainstalowanych w elektrowniach zawodowych oraz symulację konkretnych niesprawności na stanowisku laboratoryjnym. Bazy danych z badaniami diagnostycznymi zawierały zarówno odpowiedzi turbosespołów wolnych od uszkodzeń, jak i z konkretnymi uszkodzeniami zweryfikowanymi w trakcie badań diagnostycznych na obiektach. Autor w poniższej pracy używał danych pochodzących z przenośnego urządzenia diagnostycznego. Autor opracował i zaproponował dwie metody: Operating Envelope – OpEn (do automatycznej detekcji uszkodzeń podczas stanów przejściowych) oraz Multidimensional Data Driven Decomposition – MD3 (do automatycznej identyfikacji niesprawności). Ustalenie danych referencyjnych jak i przygotowanie danych z aktualnego stanu przejściowego jest oparte na interpolacji Cubic Spline (w celu ujednoczenia interwałów, dla których będzie przeprowadzana analiza wszystkich danych). W metodzie detekcji uszkodzeń (OpEn) autor wykorzystał koncepcję zbliżoną do obwiedni sygnału (Spectrum Envelope) w celu określenia regionu akceptacji poprawności odpowiedzi turbosespołu. Do automatycznej identyfikacji parametrów dekomponowanych funkcji, został wykorzystany algorytm Differential Evolution (DE), który wywodzi się z rodziny algorytmów genetycznych Genetic Algorithms (GA). Pozostałymi narzędziami składającymi się na cały zaproponowany system są: dla metody detekcji: dwu- i trójwymiarowy rejon akceptacji dla każdego z czujników poszczególnych części turbosespołu, a dla metody identyfikacji: zbiór trzech scenariuszy z odpowiednio zmodyfikowanymi funkcjami dekompozycji wraz z miarą ich dopasowania. Wszystkie metody zostały przebadane na danych pochodzących z symulowanego środowiska na stanowisku laboratoryjnym oraz na danych z obiektów rzeczywistych.

**Słowa kluczowe:** maszyny energetyczne, wykrywanie uszkodzeń, dynamika wirników, przetwarzanie sygnałów, dekompozycja sygnału, algorytmy genetyczne, Differential Evolution.

Kraków, dnia 29.09.2022

Author: Mateusz Tadeusz Zabaryłło

## Abstract

Detection and identification of malfunctions in large rotating machines are among the most critical subjects in the diagnostics of utility power generation machinery. The factor that creates significant obstacles in analyzing such large research objects is the complexity of the vibration response for the entire shaft line train, composed of several parts. There are several procedures and methods to detect and identify anomalies during the steady-state operation of turbomachinery. More important in fault diagnosis is the analysis of transient states of these machines. Key disadvantage of these methods is involvement of human experts with strong experience.

The aim of the research was to propose a complete system of automatic fault diagnosis of large rotating machines based on their responses in transient states - particularly during changes in rotational speed.

The research problem, i.e., the detection and identification of failures during the commissioning or shutdown of a high-power turbine set, was solved by analyzing a number of diagnostic tests performed by the author on facilities installed in utility power plants and simulating specific malfunctions at a test rig. The databases with diagnostic tests contained both the responses of fault-free turbine sets and those with specific damages confirmed during diagnostic tests on objects. The author used data from a portable diagnostic device. The author developed and proposed two methods: the Operating Envelope - OpEn method (for automatic fault detection during transient states) and the Multidimensional Data Driven Decomposition - MD3 method (for automatic fault identification). Determining the reference data and preparing the data from the current transient state is based on the Cubic Spline interpolation (to standardize the intervals for which all data will be analyzed). In the failure detection method (OpEn), the author used a concept similar to the signal envelope (Spectrum Envelope) to determine the region of acceptance of the correctness of the turbine set response. In his analysis, the Differential Evolution (DE) algorithm was used to automatically identify the parameters of the decomposed functions derived from the Genetic Algorithms (GA) family of genetic algorithms. The remaining tools that make up the entire proposed system are, for the detection method: two- and three-dimensional acceptance regions for each of the sensors of individual parts of the turbine set, and for the identification method: a set of three scenarios with appropriately modified decomposition functions along with a measure of their matching. All the methods were tested on data from a simulated environment on a laboratory stand and data from real turbo generators.

**Keywords:** power generation machinery, fault detection, rotor dynamics, signal processing, signal decomposition, genetic algorithms, Differential Evolution.

Krakow, 29.09.2022

