

**Piotr Deuszkiewicz**  
**Jacek Dziurdź**  
**Politechnika Warszawska**

## **ANALIZA PRZYSPIESZEŃ DRGAŃ PODPÓR W RÓŻNYCH STANACH PRACY SILNIKA LM 2500**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono metodę analizy przyspieszeń drgań zarejestrowanych na obudowie wytwornicy spalin silnika turbinowego LM 2500 w różnych stanach pracy (ustalonych i nieustalonych). Jedną z zalet metody jest wykorzystanie informacji o rzeczywistej prędkości obrotowej wału wytwornicy spalin z sygnału czujnika obrotów wykorzystywanego przez układ sterowania silnikiem. Poprawność działania algorytmów przetwarzania zarejestrowanych sygnałów, opartych na przedstawionej metodzie, sprawdzono podczas badań na obiektach rzeczywistych. Zaproponowana metoda może być wykorzystana w systemach monitorowania pracy oraz diagnozowania stanu technicznego silnika.

#### Słowa kluczowe:

silnik turbinowy, pomiar i analiza przyspieszeń drgań, diagnostyka wibroakustyczna.

### **WSTĘP**

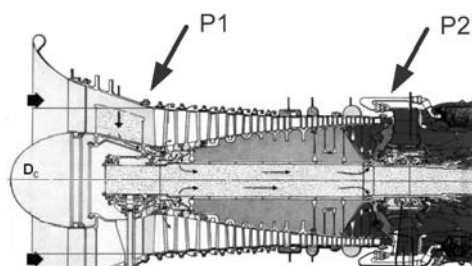
Okrętowe układy napędowe powinny cechować się dużą niezawodnością. Nietypowe warunki pracy, związane między innymi ze środowiskiem morskim, wpływają w istotny sposób na stan techniczny podzespołów. Wymogi bezpieczeństwa oraz ekonomia eksploatacji wymuszają stosowanie coraz bardziej skomplikowanych systemów diagnostycznych. Jednocześnie rozwój technik pomiarowych oraz komputerowych systemów przetwarzania i analizy danych pozwala na zwiększenie skuteczności działania tych systemów.

Jedną z wielu mierzonych wielkości fizycznych wykorzystywanych do określenia stanu technicznego układów napędowych jest wartość przyspieszeń drgań zarejestrowanych w wybranych punktach maszyny. Duża dynamika zmian parametrów

pracy układów napędowych okrętów, powodująca między innymi pracę w stanach nieustalonych, wymusza stosowanie odpowiednich technik wstępnego przetwarzania sygnałów diagnostycznych.

Zaletą analiz układów mechanicznych w stanach nieustalonych (np. w trakcie rozbiegu i wybiegu) jest szeroki zakres wymuszeń związanych ze zmianą prędkości obrotowej. W tym wypadku jedną z często stosowanych metod jest analiza rzędów, pozwalająca powiązać występujące zjawiska z prędkością obrotową układu. Na podobnej zasadzie można przeprowadzać analizy metodami klasycznymi, stosując przepróbkowanie sygnałów pomiarowych z wykorzystaniem sygnału z czujnika obrotów wału wytwornicy spalin.

Badanymi obiektami były wytwornice spalin silników turbinowych LM 2500 stanowiące część napędu okrętu ORP „Pułaski”. Punkty pomiarowe umieszczono w płaszczyznach podpory przedniej P1 oraz podpory tylnej P2. W obydwu punktach zarejestrowano zmiany przyspieszeń drgań w kierunku prostopadłym do osi wału oraz dodatkowo w punkcie P1 równoległe do osi wału. Na rysunku 1. przedstawiono położenie czujników na obudowie wytwornicy spalin.



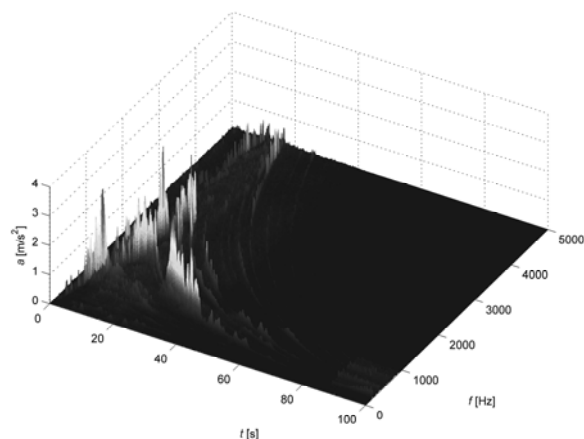
Rys. 1. Położenie punktów pomiarowych na obudowie wytwornicy spalin

### ZIMNY ROZRUCH SILNIKA

Zimny rozruch silnika polega na obracaniu wirnikiem wytwornicy spalin za pomocą sprężonego powietrza bez dopływu paliwa i zapłonu. Stosowany jest po awaryjnym zatrzymaniu silnika, rozkonserwowaniu instalacji paliwowej silnika itp.

Przeprowadzanie analiz działania układu w trakcie zimnego rozruchu pozwala na łatwiejsze diagnozowanie stanu technicznego elementów mechanicznych wytwornicy spalin dzięki brakowi zakłóceń związanych z procesami gazodynamicznymi występującymi podczas spalania paliwa w czasie normalnej pracy [2].

Na rysunku 2. przedstawiono przykładową charakterystykę czasowo-częstotliwościową przyspieszeń poprzecznych drgań zarejestrowanych w drugim punkcie pomiarowym podczas zimnego rozruchu turbiny.

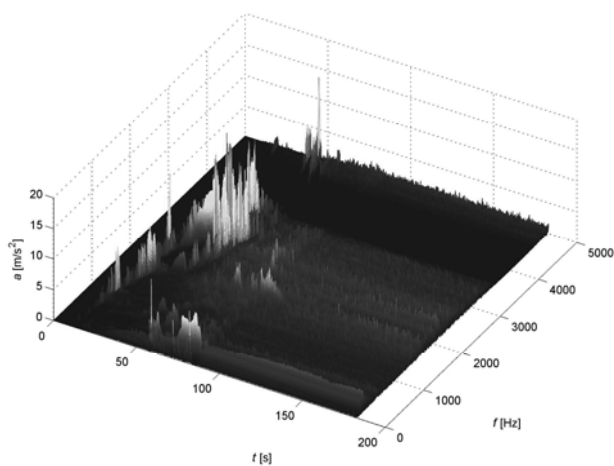


Rys. 2. Przykładowa charakterystyka czasowo-częstotliwościowa drgań poprzecznych podpory w trakcie zimnego rozruchu turbiny

### GORĄCY ROZRUCH SILNIKA

Gorący rozruch silnika polega na obracaniu wirnikiem wytwornicy spalin za pomocą sprężonego powietrza z doprowadzeniem paliwa i zapłonem umożliwiającym osiągnięcie prędkości minimalnej do obciążenia silnika tj.  $n_{GG} = 5000$  obr/min po około 60 sekundach [2].

Na rysunku 3. przedstawiono przykładową charakterystykę czasowo-częstotliwościową przyspieszeń poprzecznych drgań zarejestrowanych w drugim punkcie pomiarowym podczas gorącego rozruchu turbiny.



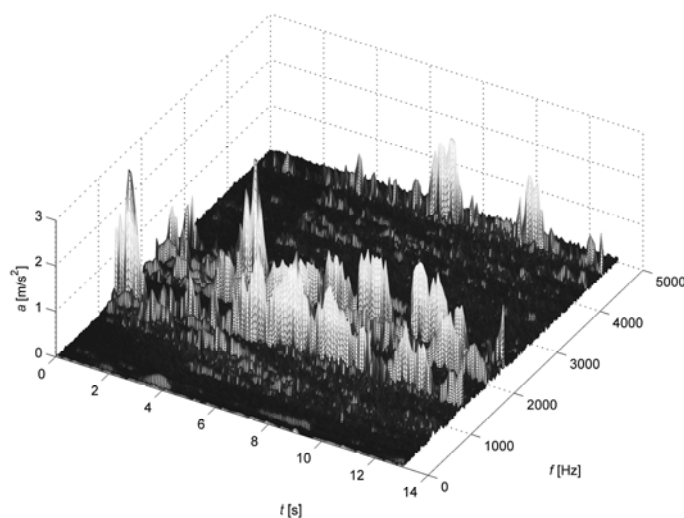
Rys. 3. Przykładowa charakterystyka czasowo-częstotliwościowa drgań poprzecznych podpory w trakcie gorącego rozruchu turbiny

Widoczny wzrost przyspieszeń drgań w trakcie rozruchu (do ok. 50 s) w porównaniu z ustaloną pracą jest potwierdzeniem potrzeby stosowania analiz dynamiki maszyny w stanach nieustalonych.

### ANALIZA Z PRZEPRÓBKOWANIEM SYGNAŁU

Przepróbkowywanie sygnałów związane jest z ich postacią cyfrową, gdzie zamiast funkcji ciągłych otrzymuje się, w wyniku rejestracji, zbiory kolejnych amplitud mierzonych wielkości fizycznych w punktach oddalonych o stałą wartość w czasie  $\Delta t$  równą odwrotności częstotliwości próbkowania  $f_p$ . Przepróbkowanie sprowadza się do odtworzenia amplitud w innych, istotnych dla nas punktach czasu (np. dla kolejnych pełnych obrotów wału napędowego), a stosowane metody można podzielić, w ogólnym przypadku, na równomierne w czasie i nierównomierne (dynamiczne) [1, 3]. W przypadku analizy rozruchu turbiny zachodzi potrzeba zastosowania dynamicznego przepróbkowania, uwzględniającego zmieniającą się wartość częstotliwości obrotowej silnika. Potrzebne dane uzyskujemy z czujnika obrotów wału wytwornicy spalin.

Na rysunku 4. przedstawiono przykładową charakterystykę czasowo-częstotliwościową przyspieszeń poprzecznych drgań zarejestrowanych w drugim punkcie pomiarowym (ok. 15 s przebiegu zimnego rozruchu z rysunku 2.) dla wycinka czasu odpowiadającego prędkości obrotowej ok. 1440 obr/min, po przepróbkowaniu sygnału.

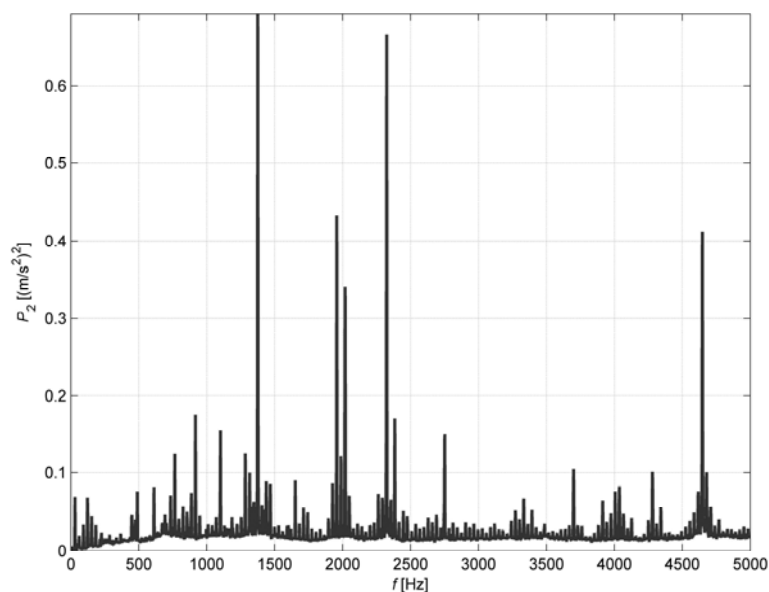


Rys. 4. Przykładowa charakterystyka czasowo-częstotliwościowa drgań poprzecznych podpory w trakcie zimnego rozruchu turbiny po przepróbkowaniu sygnału

## WNIOSKI

Proponowany algorytm umożliwia diagnostykę układów napędowych, działających w stanach nieustalonych, z zastosowaniem metod przetwarzania sygnałów stosowanych dla układów stacjonarnych, a w szczególności wymagających dużej liczby uśrednień (np. funkcje koherencji, gęstości widmowe mocy itp.).

Na rysunku 5. przedstawiono widmo mocy drgań poprzecznych podpory w trakcie zimnego rozruchu turbiny po przepróbkowaniu sygnału dla wybranego wycinka czasu rejestracji (patrz charakterystyka czasowo-częstotliwościowa z rysunku 4.).



Rys. 5. Przykładowe widmo mocy drgań poprzecznych podpory w trakcie zimnego rozruchu turbiny po przepróbkowaniu sygnału

Dużą zaletą proponowanej metody jest wybór analizy dla częstotliwości wymuszenia związanych z kolejnymi rezonansami badanego układu. Możliwa jest więc analiza dynamiki układu w szerokim zakresie częstotliwości.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Bonnardot F., Badaoui M. El., Randall R. B., Daniere J., Guillet F., *Use of the acceleration signal of a gearbox in order to perform angular resampling (with limited speed fluctuation)*, 'Mechanical Systems and Signal Processing', 2005, Vol. 19, pp. 766–785.

- [2] Deuzkiewicz P., Dobrociński S., Dziurdź J., Flis L., Grzędziela A., Pakowski R., Specht C., *Diagnostyka wibroakustyczna okrętowych turbinowych silników spalinowych*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji — PIB, Radom 2009.
- [3] Dziurdź J., *Transformation of Nonstationary Signals into 'Pseudostationary' Signals for the Needs of Vehicle Diagnostics*, 'Acta Physica Polonica A', 2010, Vol. 118, No 1, pp. 49–53.

## **ANALYSIS OF SHORE VIBRATION ACCELERATION IN DIFFERENT OPERATION CONDITIONS OF TURBINE ENGINE LM 2500**

### **ABSTRACT**

The paper presents a method used to analyze of vibration acceleration recorded on gas-turbine housing of LM 2500 in different operation conditions (stationary and transient states). One of the advantages of this method is that it can use the information related to the true rotational speed of the turbine shaft. The correctness of the process algorithms was verified during a test done on a real object. The method proposed could be used in systems monitoring performance and technical condition of an engine.

Keywords:

turbine engine, vibration measurement and analysis, vibroacoustic diagnosis.

Recenzent kmdr dr hab. inż. Andrzej Grzędziela, prof. AMW