Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Politechniki Warszawskiej

Warszawa, dn. 10.06.2022 r.

Opinia o rozprawi doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Drewinga

pt.

„Analiza porównawcza składowych harmonicznych drgań skrętnych okrętowego układu napędowego z tłokowym silnikiem spalinowym"

1. Wprowadzenie

Analiza drgań skrętnych wałów silników spalinowych od lat stanowi problem inżynierski zarówno w zakresie minimalizacji zjawiska, jak i wykorzystania obserwacji efektów dynamicznych w diagnostyce technicznej. Pomimo tego, że teoria generacji drgań skrętnych przez silniki wysokoprężne jest dobrze rozwinięta (podobnie zresztą jak teoria doboru tłumików drgań skrętnych) w dalszym ciągu pozostaje otwarty problem dokładności obserwacji tych efektów i interpretacji uzyskanych wyników. Żyjemy w czasach dynamicznego rozwoju zarówno systemów pomiarowych, jak i cyfrowych technik przetwarzania sygnałów, a każdy system diagnostyczny wykorzystujący zarejestrowane efekty dynamiczne powinien być maksymalnie niezawodny. Celowe jest zatem bezustanne doskonalenie zarówno technik pomiarowych jak i metod i środków interpretacji obserwacji. Celowość zaś dysponowania zewnętrznym systemem diagnostycznym pozwalającym na eksploatację wg stanu aktualnego układów napędowych okrętów nie podlega dyskusji. W tym kontekście tematykę rozprawy można ocenić za aktualną i zawierającą istotny potencjał aplikacyjny.

2. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do oceny praca jest obszerna. Wraz ze streszczeniami (polskim i anglojęzycznym) liczy 188 stron (w tym 25 załączników). Liczący 142 pozycje spis literatury należy uznać za poprawny i właściwy tematycznie.

Po stosunkowo długim wprowadzeniu ogólnym z zakresu napędów okrętowych i szczegółowym z zakresu pomiarów drgań skrętnych i możliwości wykorzystania wyników w diagnostyce technicznej oraz omówieniu aktualnego stanu wiedzy na stronie 44 Autor formułuje tezę pracy w postaci:

Możliwy jest pomiar drgań skrętnych wału ZSE w oparciu o czujniki optyczne zmodyfikowanego Systemu Wspomagającego Kontrolę Napędu Statku ETNP-10.

Ogólność tej tezy powoduje sformułowanie dokładniejszych hipotez naukowych:

– składowe harmoniczne drgań skrętnych wału ZSE mierzonych czujnikami optycznymi różnią się między sobą w zależności od stanu zdatności silnika i zawierają informacje diagnostyczne o stanie technicznym elementów układów wtryskowego i doładowania;

– analiza porównawcza składowych harmonicznych drgań skrętnych wału ZSE mierzonych czujnikami optycznymi pozwala wyłonić symptomy diagnostyczne przydatne w rozpoznawaniu wybranych niesprawności elementów układów wtryskowego i doładowania.

Dowiedzenie słuszności tych hipotez Autor widzi jako realizację celu mówiącego, że: **możliwa jest diagnostyka wybranych uszkodzeń okrętowego silnika tłokowego, w oparciu o analizę porównawczą składowych harmonicznych drgań skrętnych wału ZSE mierzonych czujnikami optycznymi.**

Następnie Autor dokładnie formułuje jaki jego zdaniem winien być zakres pracy i rozpoczyna dowodzenie wysuniętych hipotez.

Podstawową techniką badawczą zastosowaną w opracowaniu jest obszerny czynny eksperyment diagnostyczny wykonany na stanowisku laboratoryjnym Katedry Siłowni Okrętowych Uniwersytetu Morskiego w Gdyni składającym się z silnika trzycylindrowego o zapłonie samoczynnym Sulzer 3AL25/30 i trójfazowej prądnicy synchronicznej Domel GD8 500–50/3.

ZSE w trakcie eksperymentów był obciążony rezystorem wodnym wyposażonym w chłodnicę wentylatorową (co pozwoliło na utrzymanie stałej rezystancji obciążenia). Eksperyment polegał na wprowadzeniu do układu częściowych niezdatności i jednoczesnym pomiarze ciśnienia w cylindrach, w układzie wtryskowym i drgań skrętnych traktowanych jako różnica przemieszczeń kątowych dwu tarcz perforowanych umieszczonych na swobodnych końcach wałów. Do pomiarów wykorzystano dwie głowice laserowe. Uszkodzenia, które sprawdzano to: zanieczyszczenie filtru powietrza, utrata drożności części otworów rozpylacza (dla różnych cylindrów), przeciek paliwa w pompie wtryskowej i przeciek powietrza w układzie ładowania.

W dalszym ciągu pracy Autor szczegółowo opisuje eksperyment i dokonuje wszechstronnej analizy statystycznej uzyskanych wyników dla 30 pomiarów dla każdego stanu. Podstawą tych statystyk są widma sygnałów (a dokładniej jednostronne widma amplitudowe uzyskane algorytmem FFT i wzięte z dokładnością do znaczących składowych). Jako symptom traktowany jest współczynnik zmienności składowych definiowany jako stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej. Dla potrzeb diagnostyki szczegółowej zbiory współczynników podzielono na trzy klasy przypisując im wartości logiczne –1; 0; 1, co wykonano dwuetapowo – najpierw przypisując wartości 0÷3 różnym wartościom współczynnika zmienności a następnie obliczając ich różnice z wartościami dla silnika w pełni zdatnego.

Wartości klasyfikacyjne odpowiadają znakowi tej różnicy lub jego brakowi (wartość 0). Diagnozę stawia się dla zdefiniowanego ciągu tak określonych wartości dla poszczególnych składowych widmowych. Przytoczone wyniki świadczą o słuszności postawionych hipotez badawczych.

3. Uwagi krytyczne i zapytania

1° Przedstawiona metoda diagnozowania pozawala niewątpliwie jednoznacznie przypisać jednemu z badanych stanów niezdatności ciąg wartości logicznych. Lecz wariacji z powtórzeniami jest n^k, czyli znacznie więcej niż opisanych uszkodzeń. Jak zatem wygląda wnioskowanie „w drugą stronę”?

2° Opis uzyskiwania charakterystyk widmowych należy uznać za nieścisły i pokrętny, co nie zmienia faktu, że finalnie podano prawdę. „Zębate” wykresy (np. 7.2) przedstawiające widma są „de facto” aproksymacją obwiedni a nie wynikami FFT.

3° Dokonując obliczeń cyfrowych Autor przekształca dyskretny sygnał obserwowany w dyskretną charakterystykę widmową, co nie wymaga formalnie spełnienia warunku okresowości.

4. Opinia o pracy

Wymienione przez mnie uwagi mają raczej charakter porządkowy i nie zmieniają w niczym faktu, że Autor zrealizował postawiony cel rozprawy, udowodnił główna tezę i postawione hipotezy w sposób w pełni przekonywujący.

Najważniejszymi osiągnięciami Kandydata są:

1. Zaplanowanie i poprawne wykonanie trudnego eksperymenty diagnostycznego.
2. Wszechstronna analiza statystyczna uzyskanych wyników i krytyczne podejście do własnych wywodów.
3. Poprawnie zdefiniowane walory aplikacyjne rozprawy.

Moim zdaniem Autor pracy wykazał się umiejętnościami i wiedzą w zakresie odpowiadającym stosownym przepisom i dobrej praktyce akademickiej odnośnie do wymogów stawianym rozprawom doktorskim.

Konkluzja

Uważam, że praca doktorska „Analiza porównawcza składowych harmonicznych drgań skrętnych okrętowego układu napędowego z tłokowym silnikiem spalinowym" spełnia wszelkie wymogi Ustawy i stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Sebastiana Drewinga do publicznej obrony.