

Wpłynęło dnia 10.06.2019

Prof.dr hab.inż. Janusz Kotowicz
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Śląska
Ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice
e-mail: janusz.kotowicz@polsl.pl

Idz. 238

Adres domowy:
ul. Sikorskiego 21
44-120 Pyskowice

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Konrada Marszałkowskiego
pt. „Modelowanie procesów energetycznych w obrotowym układzie
mechanicznym dla potrzeb diagnozowania zmęczenia okrętowych wałów
napędowych”**

A. Wprowadzenie

Procesy zmęczeniowe zachodzące w okrętowych wałach napędowych doprowadzić mogą do jego uszkodzenia. Konsekwencje takiego uszkodzenia mogą być bardzo poważne, aż do utraty pływalności statku włącznie. Wiązą się z tym także zagrożenia dla bezpieczeństwa żeglugi oraz poważne straty ekonomiczne dla armatora. Uwzględniając powyższe, bardzo ważnym zagadnieniem eksploatacyjnym okrętowych wałów napędowych jest diagnozowanie ich zmęczenia, które pozwoli na dostateczne wczesne wykrycie stosunkowo wolno rozwijających się defektów. Wymaga to budowy odpowiedniego systemu diagnostycznego. Badania prowadzone na obiektach rzeczywistych muszą być poprzedzone przez prowadzenie ich na modelach w skali laboratoryjnej. Pozwalają one stworzyć odpowiedni model matematyczny, który przy wykorzystaniu teorii podobieństwa przenoszony jest na obiekt rzeczywisty. Z tego punktu widzenia tematykę pracy mgr inż. Konrada Marszałkowskiego należy uznać za ważną z poznawczego i użytkowego charakteru prac naukowo-badawczych.

B. Zakres rozprawy

Praca doktorska mgr inż. Konrada Marszałkowskiego zawiera łącznie 144 strony, na które łącznie składa się 5 rozdziałów merytorycznych oraz spis treści, wykaz oznaczeń, wstęp, zakończenie i literatura.

Pracę rozpoczyna krótki (3-stronicowy) wstęp, po nim następuje przegląd literatury specjalistycznej. W dalszym ciągu Autor na podstawie przeprowadzonej analizy literatury specjalistycznej (a także badań własnych), formułuje problem badawczy rozprawy, przedstawia tezę rozprawy, jej cele oraz metody rozwiązywania problemu badawczego.

Teza rozprawy brzmi:

Pierwotną przyczyną zmęczenia materiału i konstrukcji okrętowego układu napędowego w eksploatacji jest najczęściej utrata wymaganej współosiowości linii wałów napędowych. Ma to również swoje odzwierciedlenie w bilansie transformowanej i transmitowanej energii mechanicznej. Możliwe jest zatem wyznaczenie granicznej trwałości zmęczeniowej okrętowego wału napędowego na podstawie zmiennych stanu realizowanych procesów energetycznych w rozpatrywanym układzie, które stanowić będą bezpośrednie mierzalne symptomy diagnostyczne zmęczenia tego wału, obserwowane podczas jego użytkowania.

Rozdział 1-szy to analiza procesów energetycznych w obrotowym układzie mechanicznym. Autor pokazuje tu: podstawowe formy konstrukcyjne tych układów, związane z okrętami; jak i problemy bilansowania energii w tych układach – wprowadzając tutaj pojęcie działania.

W Rozdziale 2-gim mgr inż. Konrad Marszałkowski przedstawia zagadnienia zmęczenia okrętowych wałów napędowych. Temat ilustruje szeregiem rzeczywistych przykładów jak i wyjaśnieniem fizyki zmęczenia materiału i konstrukcji okrętowych wałów napędowych.

W kolejnym rozdziale (3-cim) przedstawiono diagnostykę eksploatacyjną okrętowych wałów napędowych. Dużo miejsca poświęca tutaj metodom identyfikacji stanów niezdatności eksploatacyjnej w tym pomiarów współosiowości linii wałów i drgań.

Rozdział 4-ty to najważniejsza i najobszerniejsza licząca 54 strony część pracy. W punkcie 4.1. Autor przedstawia stworzony przez siebie model obiektu rzeczywistego. Zaadaptowano tutaj obrotową maszynę wytrzymałościową firmy Schenk niezwykle starannie doposażoną przez mgr inż. K. Marszałkowskiego w układ kontroli obciążenia i układy pomiarowo-rejestrujące (w tym autorskie układy elektroniczne). Następnie Autor pokazał zasadę modelowania matematycznego procesu zmęczenia wału napędowego. Opracowany model matematyczny opisuje proces zmęczenia wału w aspekcie energetycznym (wynikającym z I zasady termodynamiki). Wykorzystano tutaj do opisu funkcję działania (nazywaną a automatycznie funkcją przejścia lub transmitancją) i określono 2 sygnały wejściowe (masę obciążającą wał i jego prędkość obrotową) i 4 sygnały wyjściowe (związane z przemianą energii mechanicznej na pracę (D_w), generowaniem drgań (D_v), generowaniem fal sprężystych emisji akustycznej (D_{EA}), generowaniem ciepła (D_u). W rozdziale 4.2.2. wyprowadzone równania i przeprowadzony eksperyment wykazał, że ilość rozpraszanej energii użytecznej przez wał od drgań giętych można uznać za znikomą. Bardzo ważną częścią rozdziału 4 są badania eksperymentalne. Przeprowadza Autor tutaj tzw. badania eliminacyjne i identyfikacyjne. W pierwszej grupie badań wykorzystując test Fishera-Snedecora do określenia funkcji trwałości wału napędowego wytypowano jeden sygnał wejściowy tj. masę obciążającą (odrzucając prędkość obrotową wału). Końcowym rezultatem badań eksperymentalnych wykonanym na modelu fizycznym jest zależność opisująca czas trwałości wału napędowego (τ_w) w funkcji 4 wymienionych wyżej sygnałów (D_w , D_u , D_v , D_{EA}). Do wyznaczenia tej zależności wykorzystano analizy regresji wielorakiej. Wyniki obliczeń czasu trwałości wału uzyskane z modelu porównano z otrzymanymi z badań eksperymentalnych. Opracowano również uproszczone zależności czasu trwałości wału $\tau_w = f(D_u)$, $\tau_w = f(D_w, D_u)$ i $\tau_w = f(D_w, D_u, D_v)$.

Rozdział 5-ty zawiera opracowaną przez mgr inż. K. Marszałkowskiego metodykę diagnozowania zmęczenia okrętowych wałów napędowych. Autor proponuje ją oprzeć na działaniach wału napędowego związanego z przemianą energii mechanicznej na (sposób) ciepło. Zwraca także uwagę na konieczność opracowania kryteriów podobieństwa modelu fizycznego i obiektów rzeczywistych. Syntetyczne 2-stronicowe opracowanie podsumowanej pracy zawarto w zakończeniu. Literatura do pracy jest bardzo obszerna, łącznie z adresami stron internetowych, instrukcji itp. Zawiera 192 pozycje. Załącznikiem do pracy jest starannie przeprowadzona analiza niepewności pomiarowej.

C. Ocena rozprawy

1. Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest ważna i interesująca. Praca napisana jest przejrzysto i podzielona na logiczne, wynikające z układu pracy rozdziały. Wymagała od Autora dobrego opanowania zagadnień związanych zarówno z budową i eksploatacją maszyn, jak i energetyką oraz zagadnień związanych z przeprowadzeniem eksperymentu, opracowaniem i analizą wyników.
2. W literaturze przedmiotu brak jest jednoznacznych metod badawczych, pozwalających określić trwałość zmęczeniową wałów okrętowych w warunkach eksploatacji tj. bez wyłączania napędu statku z ruchu. Opiniowana praca lukę tę uzupełnia.
3. Wychodząc z w/w punktu 2 Autor pracy mgr inż. K. Marszałkowski w pracy opracował model matematyczny opisujący trwałość okrętowego wału napędowego. Trwałość przedstawił w postaci tzw. funkcji działania (przejścia) wyznaczonej na podstawie obserwowanych parametrów energetycznych $\tau_w = f(D_w, D_u, D_v, D_{EA})$.

4. Wykorzystanie działania wału napędowego jako rezultatu przemiany energii mechanicznej na (sposób) ciepło $\tau_w = f(D_u)$ pozwala w sposób najprostszy i relatywnie tani nadzorować zespoły napędowe statków morskich wyposażonych w długie linie wałów. Wykorzystując metodologię pracy rozszerzoną o analizę wymiarową, można odwzorować zjawiska zachodzące w rzeczywistych zespołach morskich.
5. Cechą charakterystyczną zastosowaną w recenzowanej rozprawie jest wykorzystanie pojęcia działania do celów diagnostyki technicznej wałów (tj. przetwarzanie energii mechanicznej w określonym czasie). Ważnym jest także wykazane eksperymentem eliminacyjnym stwierdzenie, że do budowy modelu trwałości wału nie jest konieczne uwzględnianie wymuszenie, jakim jest jego prędkość obrotowa.
6. Na potrzeby pracy wykonano szereg skomplikowanych pomiarów, w tym współosiowości z zapisem cyfrowym 3D, emisji akustycznej, drgań i ugięcia wału, temperatury wału, prędkości obrotowej i przenoszonego momentu obrotowego, napięcia i natężenia prądu zasilającego silnik elektryczny. Do ich przeprowadzenia Autor użył bardzo nowoczesnej aparatury, w tym np. używanej do pomiarów przestrzennych 3D typu Vivid 9i firmy Konica-Minolta, kamerę termowizyjną NEC Thermo Gear czy opracowany przez siebie układ elektroniczny zwiększający możliwości pomiarowe aparatury pomiarowo-rejestrującej ANSY-S. Dyskusja zastosowanej aparatury i otrzymanych wyników oraz przeprowadzona analiza niepewności pomiarowej świadczy o bardzo dobrym zrozumieniu tych problemów przez Autora.
7. Przedstawiona do recenzji rozprawa ma znaczenie użyteczne w tym sensie, że wynika ona z zapotrzebowania środowisk związanych z gospodarką morską, w tym także międzynarodowych. Stanowi ona istotny wkład Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej w tematykę prac związanych bezpośrednio ze wzrostem bezpieczeństwa żeglugi i ograniczeniem strat związanych z uszkodzeniem zmęczeniowym okrętowych wałów napędowych.

8. Metodologia badań przedstawiona przez mgr inż. Konrada Marszałkowskiego zasadniczo dotyczy statków morskich z napędem pośrednim, gdzie przenoszenie momentu obrotowego odbywa się za pośrednictwem wałów napędowych. Może być ona również wykorzystana do diagnozowania innych układów mechanicznych, zarówno stacjonarnych lub lotniczych (w tym także w energetyce) posiadających wymienione cechy konstrukcyjne.

D. Uwagi szczegółowe, dyskusyjne krytyczne i szczegółowe:

- Proszę wyjaśnić związki między równaniem (4.25) rys. 4.29 i 4.30 – pokazać sposób wyznaczenie energii kinetycznej wału w ruchu obrotowym (33J).
- Jak jest metodologia wyznaczania potęg w równaniu (5.1) na trwałość zmęczeniową wału (np. a i b).
- Jaki jest wpływ wyboru miejsca pomiaru temperatury wału na wielkość D_u i jaki jest wpływ warunków zewnętrznych na tę wielkość.
- Teza i cel rozprawy doktorskiej oraz metody rozwiązania problemu badawczego powinny być w oddzielnym rozdziale (pomimo, że wynikają z przeglądu literatury specjalistycznej).

Uwaga oznaczenie: *wg – wiersz od góry strony*
 wd – wiersz od dołu strony

- Str. 19, 7wg Jest „Pożądane jest także zę względów...”, ma być „...ze...”

- Str. 28 rys. 1.10 Na ogół nie używa się określenia „Energia wnoszona z paliwem” tylko „Energia doprowadzona z paliwem”. W opisie brakuje P_e .
- Str. 29 2wg Jest „które być różnie”, powinno być „które być może różnie”
- Na ogół nie pisze się Rozdział 1., Rozdział 2. Itd. Wystarczy 1.,2. itd.
- Str. 33 opis pod rys. 2.1 Jest g) „Endoskopowy”, powinno być g) „endoskopowy”
- Str. 69 7wg Po fragmencie „wymiana łożysk wahliwych w węzłach łożyskowych L_1 , L_2 , L_3 , L_4 ” dopisać : (rys. 4.4.)
- Str. 70 6wg Jest „orazustalenia” powinno być „oraz ustalenia”
- Str. 104 11wg Jest „oraz niedokładnością ich wykonania” – niejasno sformułowano (czego dotyczy – ich?)
- Spraw tezy pracy ??
- Str. 124, 11wg Jest „w sposób znaczenie”, ma być „w sposób znacznie”

E. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pana *mgr inż. Konrada Marszałkowskiego* pt. „**Modelowanie procesów energetycznych w obrotowym układzie mechanicznym dla potrzeb diagnozowania zmęczenia okrętowych wałów napędowych**” zawiera sformułowanie ważnych w budowie i eksploatacji maszyn zadań badawczych, ich rozwiązanie i dyskusję wyników.

W opinii końcowej chcę także podkreślić złożoność badanych zjawisk i związaną z tym konieczność przeprowadzenia żmudnych oraz pracochłonnych badań eksperymentalnych. Autor w ich przeprowadzeniu wykazał się bardzo dobrą wiedzą i szeroką skalą umiejętności posługiwania się złożonymi technikami pomiarowymi, jak i umiejętnościami opracowania i interpretacji wyników oraz szerokiej ich dyskusji.

Pragnę również podkreślić umiejętne połączenie części pracy związanych z modelowaniem matematycznym i badaniem eksperymentalnym oraz metodami aplikacji.

Poziom merytoryczna rozprawy tworzy logicznie przemyślaną i spójną całość, potwierdzającą dojrzałość Autora do prowadzenia badań naukowych, w tym także w zakresie samodzielności i pracowitości.

Uważam, że opiniowana praca mgr inż. Konrada Marszałkowskiego w pełni spełnia ustawowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim w odpowiednich przepisach i zasługuje na pozytywną opinię. Wobec powyższego stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Uwzględniając powyższe oraz szczególnie wymienione w ocenie rozprawy punkty 2-5, a także fakt, że mgr inż. Konrad Marszałkowski jest współautorem artykułów związanych z tematyką pracy, proponuję wyróżnienie pracy, o ile jej obrona przebiegnie w sposób odpowiednio satysfakcjonujący.

Gliwice, 1.06.2019

Janusz Kotowicz

