Wpłynęła dnia
09. SIE. 2022

Szczecin 27.07.2022 rok

Prof. dr hab. inż. Bartosz Powałka
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

OPINIA

o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Adama Dąbrowskiego

pt. „Wpływ środowiska i warunków zamocowania na drgania elementów obiektów wynoszonych w przestrzeń kosmiczną"

1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Tematyka tłumienia obiektów wynoszonych w przestrzeń kosmiczną jest poruszana w literaturze naukowej już od końca lat siedemdziesiątych. Zainteresowanie te wynika przede wszystkim z niebezpieczeństwa uszkodzenia obiektów wynoszonych przestrzeń kosmiczną, które może być spowodowane naprężeniami wywołanymi zjawiskiem rezonansu. W trakcie wynoszenia obiektu w przestrzeń kosmiczną generowane są wymuszenia dynamiczne zawierające składowe leżące w zakresie niskich częstotliwości. Z kolei zaś wielkość i konstrukcja obiektów wynoszonych w przestrzeń kosmiczną powoduje, że ich dynamika jest kształtowana przez niskie częstotliwości własne. Amplituda drgań wywołana obciążeniami dynamicznymi i w konsekwencji występujące w obiekcie naprężenia dynamiczne zależą od właściwości dyssypacyjnych konstrukcji. Stąd duża istotność badań doświadczalnych i modelowania zjawiska tłumienia energii. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że część mechanizmów tłumienia związana jest ze zjawiskami aerodynamicznymi: powietrze oddziałuje na strukturę powodując siłę proporcjonalną do prędkości, powietrze „uwięzione" w wolnych przestrzeniach połączeń kontaktowych również przyczynia się do zwiększenia dyssypacji energii w obiektach naziemnych. Zjawiska te nie będą jednak występować w przestrzeni kosmicznej, a tym samym należy spodziewać się znacznego spadku współczynnika tłumienia. Wpływ na tłumienie obiektów znajdujących się poza ziemską atmosferą może mieć także występowanie zjawiska spawania na zimno. Tłumienie występujące w połączeniach kontaktowych jest w dużej mierze związane ze zjawiskiem tarcia. Współpracujące ze sobą powierzchnie tracą w wyniku tarcia warstwy utlenione, które jednak w warunkach atmosfery ziemskie są szybko odbudowywane. W

przestrzeni kosmicznej zaś utracona w wyniku tarcia warstwa wierzchnia nie ulega odbudowie i następuje scalenie współpracujących powierzchni. Zjawisko to ma zatem istotny wpływ na dyssypację energii obiektów znajdujących się w przestrzeni kosmicznej. Czynniki te powodują, że ocena tłumienia na podstawie badań przeprowadzanych w atmosferze ziemskiej jest niemiarodajna i prowadzi do znacznego przeszacowania współczynników tłumienia w stosunku do tych, które będą charakteryzować obiekty w kosmosie.

Autor rozprawy podjął się próby oceny wpływu środowiska i warunków zamocowania na drgania elementów wynoszonych w przestrzeń kosmiczną. Można zatem stwierdzić, że badania takie, a zwłaszcza konstrukcja stanowiska, które w pewnym stopniu odtwarza warunki panujące w przestrzeni kosmicznej poruszają dwa najistotniejsze problemy związane z oceną parametrów charakteryzujących rozpraszanie energii. Stwierdzam zatem, że temat rozprawy jest jak najbardziej aktualny.

2. Charakterystyka rozprawy i jej merytoryczna ocena

Rozprawa składa się z jedenastu rozdziałów, oraz spisu literatury. Rozdział pierwszy stanowi przewodnik po rozprawie, tzn. opisano w nim zawartość poszczególnych rozdziałów. Rozdział drugi jest elementarnym wprowadzeniem do drgań mechanicznych i uważam, że nie było sensu wprowadzać go do rozprawy. Znajduje się w nim co prawda równanie opisujące drgania swobodne układu o jednym stopniu swobody, które jest używane w rozdziale 8, jednak nie jest ono wyprowadzone a jedynie przytoczone na podstawie literatury. Rozdział ten zakończony jest podrozdziałem pod tytułem „Zagadnienia pokrewne", w którym w dość przypadkowy sposób wspomniane są przeróżne zagadnienia związane z drganiami. Takie ujęcie wprowadza jedynie chaos w odbiorze pracy.

W rozdziale 3 omówiono sposoby pomiaru drgań. Rozdział ten stanowi podręcznikowy opis działania czujników drgań. Autor rozprawy decyduje się na zastosowanie czujników pojemnościowych, jednak w bardzo lakoniczny sposób uzasadnia ich wybór stwierdzając, że zdecydowano się na ten rodzaj czujników ze względu na warunki środowiskowe oraz konstrukcję stanowiska pomiarowego. Rozdział ten powinien koncentrować się raczej na bardzo syntetycznym opisie czujników a należałoby w bardziej przekonujący sposób uzasadnić wybór czujników pojemnościowych.

W rozdziale 4 Doktorant omawia drgania obiektów kosmicznych, metody ich testowania, zakresy częstotliwości stosowane w testach wibracyjnych. Właśnie te informacje mogą stanowić podstawę do wyboru czujnika.

W rozdziale 5 omówione zostały zjawiska kontaktowe. Niestety również ten rozdział stanowi ogólne wprowadzenie do zagadnień modelowania zjawisk kontaktowych. Trudno jednak dopatrzeć się jednoznacznego odniesienia do zagadnień stanowiących oryginalny wkład Doktoranta.

Rozdział 6 pod tytułem „Tribologia kosmiczna" jest w dużej mierze oparty na podręczniku „Space Tribology Handbook". Zakończony jest on wyborem smaru stosowanego w budowanym stanowiku doświadczalnym. Można zatem uznać, że jest on w pewien sposób uzasadniony pomimo przekazywania licznych wyrywkowych informacji bez podania związku z prowadzonymi badaniami.

Rozdział 7 zawierający opis metod identyfikacji parametrów modalnych również powinien zostać skrócony. Wystarczyło odwołać się do odpowiednich pozycji literaturowych a większy wysiłek skierować na ewentualne wyjaśnienie różnic w wartościach identyfikowanego tłumienia podczas stosowania różnych metod. Porównanie te zawarte w rozdziale 8 mogło być bardziej rozbudowane, tzn. można było przedstawić na przykład analizę dla wielokrotnych realizacji sygnału zawierającego szum pomiarowy. Na podstawie jednokrotnej realizacji trudno jest wyciągać jednoznaczne wnioski dotyczące efektywności metod identyfikacji. W rozdziale tym (rozdział 8) Autor przedstawia własną metodę identyfikacji tłumienia modalnego opartą na transformacji Hilberta. Trudno uznać ją za oryginalną, gdyż identyfikacja tłumienia na podstawie funkcji obwiedni uzyskanej z zastosowaniem transformaty Hilberta zostało przedstawione m.in. w pracy: *A. Agneni, L. Balis-Crema, Damping measurements from truncated signals via Hilbert transform, Mechanical Systems and Signal Processing 3 (1)(1989) 1–13.*

W rozdziale 8 w sposób bardzo ogólny omówiono identyfikację parametrów modalnych układów niestacjonarnych. Ujęcie w rozprawie takiego podrozdziału nie znajduje uzasadnienia, gdyż Autor takich układów nie bada.

Rozdział 9 stanowi opis stanowiska doświadczalnego i przeprowadzonego eksperymentu wraz z przeprowadzoną, wnikliwą analizą statystyczną otrzymanych wyników. Rozdział ten przedstawia oryginalne osiągnięcia Doktoranta.

W rozdziale 10 Autor rozprawy przedstawia sposób identyfikacji współczynnika tarcia z zastosowaniem modelu MES. Szkoda, że Autor nie przedstawił szerzej uzyskanych wyników. Należało w sposób bardziej szczegółowy przedstawić uzyskane wyniki w formie

rysunków, tabel. Dodatkowe wyjaśnienia, interpretujące uzyskane wyniki stanowią istotny wkład Doktoranta.

Podsumowując układ rozprawy stwierdzam, że Doktorant niepotrzebnie rozbudował ją o obszerne fragmenty o charakterze podręcznikowym niewiele wnoszące do rozprawy a jedynie utrudniające jej odbiór. Zabrakło w rozprawie klasycznego przeglądu literatury dotyczącego identyfikacji tłumienia obiektów umieszczanych w przestrzeni kosmicznej. Czytelnik nie uzyskuje odpowiedzi na pytanie, czego zdaniem Autora rozprawy brakuje w dotychczasowych pracach naukowych dotyczących tego zagadnienia.

Do wartościowych i oryginalnych osiągnięć rozprawy zaliczyć należy:

- Budowę stanowiska doświadczalnego oraz przeprowadzenie eksperymentu, który odtwarza w pewien sposób warunki panujące w przestrzeni kosmicznej.
- Analiza statystyczna uzyskanych wyników oraz określenie zależności pomiędzy zidentyfikowanymi parametrami t.j. współczynnikiem tłumienia i tarcia
- Wyjaśnienie przyczyn zaobserwowanych zależności tzn. wpływu ciśnienia powietrza oraz momentu dokręcania na tłumienie drgań.

Oceniając pozytywnie opiniowaną rozprawę, mam również liczne uwagi krytyczne, do których zaliczam:

Rozdział 2

- Str. 17: czy podręczniki nt. analizy modalnej (poz. 4 i 5) stanowią dobry przykład pożądanego stosowania drgań?
- Str. 22 FRF to po polsku częstotliwościowa funkcja przejścia.

Rozdział 3

- Str. 30 Dlaczego czujnik o masie 20g nie byłby odpowiedni dla drgań o częstotliwościach powyżej 50Hz?
- Str. 37 Brakuje dt (dwukrotnego) w równaniu 55

Rozdział 4

- Str. 45 W jaki sposób realizowane są kwazistatyczne przyśpieszenia na wzbudniku elektromagnetycznym?
- Str. 45 Przyśpieszenia liniowo zmienne w funkcji promienia powodują (a nie mogą powodować) poddawanie różnych części obiektu różnym przyśpieszeniom

- Str. 47 Dlaczego celem testów jest m.in. demonstracja, że obiekt wytrzyma część niskich częstotliwości? Co to znaczy, że część?
- Str. 47-48 Po co przewidywać odpowiedź dynamiczną układu przy zmniejszonej amplitudzie drgań?
- Str. 48 „... zakłada testowanie ... wyższym niż podany przez producenta.." Jakiego producenta?
- Str. 49 „Doświadczenie ... pokazuje, że dotychczasowe wymagania dot. Losowych testów wibracyjnych [88] często nie znajdują potwierdzenia w pomiarach parametrów drgań w rzeczywistym środowisku dynamicznym". Proszę rozwinąć tę myśl. .
- Str. 50 Co oznacza lot z maksymalnym ciśnieniem dynamicznym?

Rozdział 6

- Str. 74 Co oznacza, że ciśnienia wewnątrz mechanizmu w przestrzeni kosmicznej są większe ale mają charakter przejściowy?
- Str. 80 Zdecydowano się na smar MoS2, ale jeszcze nie wiadomo co będzie smarowane.
- Str. 81 Wykres jest zbyt banalny, żeby go przedstawiać. Wystarczą liczby.

Rozdział 7

- Str. 83 Metoda ITD. – w jaki sposób uzyskuje się odpowiedź impulsową układu?
- Str. 84 Dlaczego wprowadzono kolejne oznaczenie tej samej wielkości (wzór 82)? Wcześniej było to r.
- Str. 84. Wielkość przedstawiana wzorem 83 jest skalarem a nie wektorem
- Str. 87 Czym jest hij we wzorze 106? Czym jest sk w tym wzorze?
- Str. 87 Skąd wzięła się zależność 108?
- Str. 88 Czym jest zr i zro w 114?
- Str. 92 Czym jest dt w 139?

Rozdział 8

- Str. 108 Jak dobrać okno dla układów niestacjonarnych?

Rozdział 9

- Str. 110 Czy były powtórzenie w ramach poszczególnych punktów planu eksperymentu?

- Str. 112 Pokazano dwa modele statystyczne tłumienia (214 i 215). Czego dotyczy wartość χ^2 podana we wzorze 218? .
- Str. 113. Gdzie podane są wyniki eksperymentów dla przypadku tarcia suchego i dla smarowania dwusiarczkiem molibdenu?
- Str. 118 Jaka jest częstotliwość własna badanej belki?
- Str. 118 Dlaczego w tekście stwierdzono, że maksymalne wychylenie belki wynosiło ok. 1.5 mm na wykresie zaś widać ponad 2 mm?
- Str. 120 Szkoda, że nie przeprowadzono pełniejszej analizy modalnej z pomiarem w wielu punktach belki co umożliwiłoby prezentacje postaci drgań. Można się domyślać, że nie każda postać belki będzie wrażliwa na moment dokręcania.
- Str. 121 i 122 Niepotrzebna jest tabela z wariancjami skoro pokazano tabelę z odchyleniami standardowymi
- Str. 130 Brakuje testów istotności dla poszczególnych współczynników we wzorze 263
- Str. 132 Co smarowano?
- Str. 134 Tabela 24 jest taka sama jak Tabela 20
- Str. 136 Czym są zmienne x0, x1,x2, y?
- Str. 136 Wyniki w Tabeli 26 wcale nie zgadzają się do 2 miejsc po przecinku np. 0.2563% i 0.2458%.

Rozdział 10

- Str. 143. Wątpliwości budzi użycie elementów Solid186 z uwagi na tzw. Midside nodes.
- Str. 146. Podsumowanie różnic między współczynnikiem tarcia uzyskanym z pomiaru tribometrycznego oraz zidentyfikowanym z zastosowaniem modelu MES jest bardzo ogólnikowe. Ograniczono się do stwierdzenia, że współczynnik tarcia powinien być rozumiany jako cecha systemu , a nie tylko skojarzenia materiałowego. Przydałaby się interpretacja fizyczna?

Opiniowana rozprawa ma charakter doświadczalny-analityczny. Jej ogólna ocena mimo licznych uwag krytycznych pozytywna. Rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Dąbrowskiego wnosi istotny wkład w rozwój nauki o modelowaniu zjawisk związanych z dyssypacją energii.

Redakcyjne opracowanie rozprawy nie budzi większych zastrzeżeń. Stylistyka rozprawy jest na akceptowalnym poziomie.

3. Końcowa ocena rozprawy

Końcowa ocena rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Dąbrowskiego jest pozytywna. Autor wykazał się teoretyczną i praktyczną wiedzą z zakresu badań doświadczalnych dotyczących układów dynamicznych, modelowania MES, metod identyfikacji parametrów modalnych oraz statystycznej analizy wyników pomiarów. Udowodnił, że jest przygotowany do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Dąbrowskiego spełnia wszystkie wymagania odpowiedniej ustawy i może być dopuszczona do publicznej obrony.