

Prof. dr hab. Zbigniew Starczewski
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Politechniki Warszawskiej
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84



Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Marka Płaczka

pt.

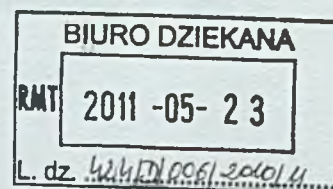
Modelowanie i badanie jednowymiarowych drgających układów mechatronicznych

1. Przedmiot i zakres rozprawy

W pracy przedstawiono zagadnienia modelowania i badania drgających jednowymiarowych układów mechatronicznych, a także weryfikację analityczną stosowanych modeli matematycznych. Podejmowane zagadnienia, związane z tłumieniem oraz sterowaniem i kontrolą drgań układów mechatronicznych, poprzez zastosowanie przetworników piezoelektrycznych, są problemami niezwykle istotnymi ze względu na możliwości ich implementowania w nowoczesnych układach technicznych.

Problem, którego rozwiązania podjął się Doktorant w realizowanej pracy jest kontynuacją i rozwinięciem prowadzonych w ośrodku gliwickim dotychczasowych badań drgających układów mechatronicznych, w których przedstawiono zagadnienia modelowania, a także wyznaczania charakterystyk dynamicznych tych układów oraz wpływu na nie zjawiska piezoelektrycznego. Celem weryfikacji dotychczas stosowanych oraz opracowania nowych modeli matematycznych było wskazanie modelu umożliwiającego pełny opis zjawisk zachodzących w drgających układach mechatronicznych, z uwzględnieniem wszystkich parametrów, przy jednoczesnym maksymalnym uproszczeniu złożoności i czasochłonności obliczeń niezbędnych do badania tych układów.

Pracę zawarto na 154 stronicach i podzielono na sześć rozdziałów, w których przedstawiono proces modelowania i badania drgających jednowymiarowych układów mechatronicznych, począwszy od opisu zastosowanej metody ich analizy i weryfikacji jej dokładności, poprzez opracowanie ciągu modeli matematycznych, aż do wyznaczenia



charakterystyk dynamicznych i oceny uzyskanych wyników. Każdy z rozdziałów pracy (poza rozdziałem 2 i podsumowaniem treści pracy) podzielono dodatkowo na trzy podrozdziały. Przyjmując kolejność i zakres omawianych zagadnień, a także ustalając podział treści rozprawy na rozdziały, Doktorant kierował się chęcią nadania swojej pracy ciągłości i logicznej spójności.

W rozdziale pierwszym przedstawiono przedmiot rozprawy oraz nakreślono jej zasadnicze cele. Zawarto przegląd literatury, w której poruszano zagadnienia modelowania układów mechatronicznych z zastosowaniem przetworników piezoelektrycznych. W rozdziale tym zamieszczono również przegląd treści pracy i charakterystykę jej poszczególnych części składowych.

W rozdziale drugim zawarto wykaz stosowanych oznaczeń oraz omówiono przyjęte założenia dotyczące modelowanych drgających układów ciągłych.

Modelowanie i badanie podukładu mechanicznego – stalowej belki wspornikowej drgającej giętnie, przedstawiono w rozdziale trzecim. Przeprowadzono analizę jego drgań, stosując metodę dokładną Fouriera. Zakładając obciążenie układu w postaci harmonicznie zmiennej siły zewnętrznej, wyznaczono jego podatność dynamiczną, której przebieg przedstawiono graficznie zarówno w postaci wymiarowej, jak i bezwymiarowej. Podatność dynamiczną układu mechanicznego wyznaczono również, stosując metodę przybliżoną Galerkina. Otrzymane przebiegi podatności dynamicznej zestawiono ze sobą i porównano w celu weryfikacji dokładności metody przybliżonej. Wyznaczono wartości przesunięć częstości drgań własnych otrzymanych metodą przybliżoną względem wartości wyznaczonych metodą dokładną. Zaproponowano sposób korekcji metody przybliżonej, którą zastosowano do analizy drgań układu mechatronicznego, opisanej w dalszej części pracy.

Modelowanie i badanie drgającego giętnie układu mechatronicznego z szerokopasmowym, piezoelektrycznym tłumikiem drgań zawarto w rozdziale czwartym. Rozpatrywany układ opisano ciągiem modeli matematycznych, zarówno znanych z dotychczasowych opracowań, w których zakładano idealne przytwierdzenie przetwornika piezoelektrycznego do powierzchni podukładu mechanicznego lub zakładano czyste ścinanie warstwy łączącej te elementy, jak i utworzonych, autorskich modeli. Oryginalnymi są te modele, w których drgający giętnie układ mechatroniczny opisano jako belkę złożoną i uwzględniono proces mimośrodowego rozciągania warstwy kleju. Opracowano zarówno dyskretno – ciągle, jak i ciągle – ciągle modele matematyczne o takich założeniach. Otrzymane modele zastosowano do wyznaczenia podatności dynamicznej układu mechatronicznego stosując skorygowaną metodę Galerkina. Przedstawiono proces

wyznaczenia podatności dynamicznej układu w przypadku zastosowania pierwszego z opracowanych modeli matematycznych. Porównano rezultaty, otrzymane w wyniku stosowania pozostałych modeli, zestawiając zależności podatności dynamicznej, a także prezentując jej przebiegi w postaci graficznej. Przeprowadzono analizę wpływu parametrów geometrycznych i tworzywowych elementów badanego układu mechatronicznego na przebieg jego podatności dynamicznej. Wskazano ponadto, jako najbardziej odpowiedni pod względem dokładności odwzorowania układu rzeczywistego, przy jednoczesnej minimalizacji złożoności, dyskretno – ciągły model matematyczny z uwzględnieniem momentu zginającego, generowanego przez przetwornik piezoelektryczny i mimośrodowego rozciągania warstwy łączącej przetwornik z powierzchnią podukładu mechanicznego. Wskazano również jako nie celowe wprowadzanie nadmiernej złożoności modelu matematycznego układu (stosowanie ciągle – ciągłych modeli), które nie ma znaczącego wpływu na rezultaty jego analizy.

W rozdziale piątym przedstawiono analizę układu mechatronicznego z aktuatorem piezoelektrycznym, stosowanym w celu wzbudzenia drgań giętnych podukładu mechanicznego. Uwzględniając wnioski zawarte w rozdziale czwartym, Autor stosuje dyskretno – ciągłe modele matematyczne do analizy układu z aktuatorem piezoelektrycznym. Wyznaczono charakterystykę dynamiczną układu, którą opisano zależność amplitudy drgań swobodnego końca podukładu mechanicznego od parametrów napięcia harmonicznego, którym zasilano akuator. W podrozdziale 5.2 również opisano sposób wyznaczenia charakterystyki układu stosując jedynie pierwszy z opracowanych modeli, natomiast, w przypadku pozostałych zestawiono otrzymane zależności oraz przebiegi wyznaczonej charakterystyki. Dokonano analizy wpływu na charakterystykę dynamiczną badanego układu jego parametrów geometrycznych oraz tworzywowych oraz oceny opracowanych modeli matematycznych i wskazania modelu optymalnego ze względu na przyjęte kryteria.

W rozdziale szóstym podsumowano pracę i zebrano najważniejsze wnioski.

Pracę zakończono wykazem literatury. W treści pracy cytowano 116 pozycji literaturowych oraz trzy źródła internetowe. Należy podkreślić, że Doktorant jest współtwórcą aż 23 spośród cytowanych publikacji. Godny uwagi jest także czynny udział Doktoranta w wielu konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych.

2. Oryginalne osiągnięcia rozprawy

Celem Autora pracy było opracowanie precyzyjnego, a zarazem możliwie prostego modelu matematycznego, drgających giętnie układów mechatronicznych z przetwornikami piezoelektrycznymi, oraz wykazanie możliwości zastosowania metody przybliżonej do analizy tego typu układów. Doktorant zrealizował podjęte zadanie, a jako oryginalne bądź nowatorskie jego osiągnięcia należy uznać:

- opracowanie algorytmu rozwiązania zadania analizy drgających układów mechatronicznych przy zastosowaniu metody przybliżonej Galerkina; przeprowadzenie weryfikacji i wykazanie zależności błędu metody od warunków brzegowych, nałożonych na układ i przyjmowanego, przybliżonego rozwiązania różniczkowego równania ruchu belki, a także zaproponowaną metodę jej korekcji,
- utworzenie ciągu modeli matematycznych analizowanych układów, w których przetworniki piezoelektryczne stosowane są zarówno jako akulatory, jak i pasywne tłumiki drgań; autorskimi są te modele matematyczne, w których Doktorant opisuje układ jako belkę złożoną, uwzględniając mimośrodowe rozciąganie warstwy łączącej przetwornik z częścią mechaniczną układu,
- wykazanie dużej dokładności opracowanej metody analizy układów mechatronicznych oraz niewielkiej zależności jej rezultatów od stopnia uszczegółowienia stosowanego modelu matematycznego; Autor wskazał ograniczenia możliwości określenia wpływu wszystkich parametrów układu na jego charakterystyki dynamiczne w przypadku zakładania znacznych uproszczeń, takich jak pomijanie warstwy łączącej.

3. Uwagi krytyczne

Do uwag krytycznych lub dyskusyjnych zaliczyłbym:

- aspekt praktyczny pracy, a więc brak weryfikacji doświadczalnej otrzymanych wyników i odniesienia ich do rezultatów jakiegokolwiek eksperymentu, przez co możliwa byłaby ocena opracowanych metod teoretycznych; przeprowadzając bowiem badania wyłącznie teoretyczne otrzymano wyniki pozornie ścisłe, lecz obarczone zasadniczym niedostatkiem, jakim jest idealizacja modeli w stosunku do rzeczywistości; wyniki te należy więc traktować jako przybliżone i na ich podstawie wnioskować o charakterze i wpływie poszczególnych parametrów układu na jego charakterystykę w ewentualnych zastosowaniach praktycznych,

- w opracowanych modelach matematycznych badanych układów Autor nie uwzględnił wpływu na sztywność belki naklejonego na jej powierzchni przetwornika piezoelektrycznego, ani też jego masy; uproszczenia takie przyjmowane są w większości opracowań teoretycznych, jednak wydają się rozbieżne z celem, jaki stawia sobie Doktorant.

Ważniejsze uwagi dotyczące sformułowań:

- Autor nieprecyzyjnie używa sformułowania „charakterystyka dynamiczna” w odniesieniu do wyznaczonej w rozdziale piątym charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowej, którą opisał zależność amplitudy drgań belki wspornikowej od parametrów harmonicznego napięcia elektrycznego, którym zasilany jest aktuator piezoelektryczny; wyznaczona w rozdziale czwartym pracy podatność dynamiczna układu z tłumikiem piezoelektrycznym jest również charakterystyką dynamiczną tego układu,
- Autor wprowadza liczne skróty myślowe, stosując zwroty typu „...przeprowadzając analogiczne postępowanie w przypadku pozostałych, opracowanych modeli matematycznych analizowanego układu, otrzymano...”, przez co praca staje się mniej czytelna, szczególnie dla mniej biegłego odbiorcy,
- w celu ułatwienia zapisu złożonych zależności matematycznych Autor niekonsekwentnie wprowadza symboliczne podstawienia, stosując jednakowe oznaczenia w przypadku analizy układu z tłumikiem lub aktuatorem piezoelektrycznym, odnoszące się do różniących się zależności; przykładem mogą być wielkości podstawiane w zależnościach (4.175) oraz (5.24), a zestawione przez Autora w tablicach 4.2 do 4.5 oraz 5.2.

Pozostałe uwagi zaznaczyłem w rozprawie oraz przekazałem Autorowi, a ponieważ są to uwagi typu redakcyjnego nie będę ich przytaczał.

4. Podsumowanie

Recenzowana rozprawa, mimo wymienionych uwag krytycznych, które jak zwykle nie są pozbawione pewnego subiektywizmu, zawiera wiele wartościowych i wyróżniających ją wyników badań, które są świadectwem dużej wiedzy Autora z zakresu mechaniki stosowanej. Jak podkreśla On, opracowana metoda analizy drgających układów mechatronicznych jest wprowadzeniem do badania tego typu złożonych układów o różnych warunkach brzegowych.

Może być ona z powodzeniem stosowana do analizy różnych postaci drgań mechatronicznych układów jednowymiarowych, o dowolnym sposobie zamocowania, w których przetworniki piezoelektryczne stosowane są jako akulatory, jak i tłumiki drgań. Istnieje również możliwość jej rozwinięcia w celu analizy układów aktywnej redukcji drgań, a także do badania układów dwuwymiarowych. Zaproponowany sposób opisu i badania rozpatrywanych układów jest jednak przede wszystkim wprowadzeniem do realizacji zadania odwrotnego, a więc syntezy jednowymiarowych drgających giętnie układów mechanicznych i mechatronicznych. Jako cel dalszych badań Autor stawia sobie opracowanie metody syntezy drgających giętnie układów ciągłych, a tym samym wspomaganie projektowania tego typu układów ze względu na żądane widmo częstotliwości.

Autor wykazał, że potrafi planować i prowadzić teoretyczne badania naukowe, poprawnie analizować ich wyniki i wyciągać przekonujące wnioski. Jego wywody są jasne i precyzyjne. Mogą być one użyteczne zarówno w przypadku teorii, jak i praktyki projektowej.

Przedstawione uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają mojej bardzo pozytywnej oceny opiniowanej rozprawy i mam nadzieję, że zmotywują one Autora do dalszych działań.

Uwzględniając całość przedstawionej rozprawy oraz dorobek naukowy Doktoranta, stwierdzam, że rozwiązał on istotny problem współczesnej tematyki naukowej, związanej z mechaniką stosowaną.

5. Konkluzja końcowa

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marka Płaczka p.t. „Modelowanie i badanie jednowymiarowych drgających układów mechatronicznych” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z obowiązującą w tym zakresie Ustawą z dnia 14.03.2003r. Dz.U. Nr 65, poz. 595 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy i nadanie Panu mgr inż. Markowi Płaczkiowi stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

