

Gdańsk, 9 sierpnia 2021

Prof. dr hab. inż. Wiesław Ostachowicz
Członek koresp. PAN
Instytut Maszyn Przepływowych PAN
w Gdańsku

Sprawy formalne:

Podstawę do opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie z dnia 2 czerwca 2021 podpisane przez Pana Dr hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego, Prof. IPPT PAN

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Błażeja Popławskiego
pt.: *Semi-Active Mitigation of Vibrations in Frame Structures by Using Structural Joints with a Controllable Ability to Transmit Moments*

Autor rozprawy przedstawił interesującą koncepcję półaktywnego tłumienia drgań w wiotkich, dwuwymiarowych konstrukcjach ramowych. Przedstawiona w rozprawie metoda dynamicznej rekonfiguracji topologii sterowanej konstrukcji ramowej polega na chwilowych zmianach charakterystyk pracy węzłów, które łączą elementy belkowe. Aby osiągnąć ten cel Autor rozprawy zaproponował użycie specjalnych sterowalnych węzłów, które umożliwiają szybką zmianę charakterystyk ich funkcjonowania. Chodzi w tym przypadku węzły połączeń elementów konstrukcyjnych typu ramowego oraz kratowego.

Zaproponowana koncepcja jest interesująca bowiem powoduje, że energia potencjalna odkształceń układu związana z jego drganiami może być transferowana do innej formy drgań (drgania o wysokich częstościach) i następnie zredukowana na skutek naturalnego tłumienia materiałowego. Należy podkreślić, że przejście z charakterystyki ramowej do charakterystyki kratowej ma charakter krótkotrwały a cechy sterowania globalnie optymalnego Autor wyprowadził wykorzystując zasady maksimum Pontriagina.

Autor dokonał weryfikacji zaproponowanej koncepcji tłumienia drgań przeprowadzając symulacje numeryczne (stosując metodę elementów skończonych) oraz przeprowadzając badania eksperymentalne. Dodatkowo w rozprawie przedstawiono propozycję wprowadzenia wskaźnika jakości, który klasyfikuje układ węzłów sterowalnych pod względem ilości zakumulowanej energii potencjalnej. Zakumulowana energia może być następnie rozproszona na skutek naturalnego tłumienia.

Symulacje numeryczne pokazały, że zaproponowana strategia sterowania półaktywnego jest we wszystkich porównywanych przypadkach lepsza niż pasywna strategia odniesienia. Przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdziły skuteczność tłumienia drgań zaproponowanej strategii sterowania w konstrukcji o reprezentatywnej topologii.

Do celów badawczych Autor skupił uwagę na dwóch przypadkach to znaczy na drganiach swobodnych oraz drganiach wymuszonych siłą harmoniczną i losową. We wspomnianych uprzednio modelach numerycznych Autor wprowadził pasywne tłumienie wiskotyczne skupione w węzłach sterowalnych. Współczynniki tłumienia dobrano w ten sposób, aby wybrany wskaźnik jakości uzyskał możliwie minimalne wartości.

Z przeprowadzonych przez Autora badań numerycznych wynika, że proponowana koncepcja sterowania pozostaje skuteczna w szerokim zakresie przedziałów czasowych, w których sterowane węzły pozostają w stanie niesprężonym. Oddala to obawy dotyczące utraty skuteczności tłumienia spowodowanej ograniczeniami eksploatacyjnymi węzłów fizycznych i pozwala na praktyczne zastosowanie badanego prostego kryterium ponownego sprzężenia.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne:

Ponieważ Autor rozprawy zaproponował zastosowanie specjalnych sterowalnych węzłów, które umożliwiają szybką zmianę charakterystyk ich funkcjonowania pojawia się pytanie o spadek nośności konstrukcji przy zmianach sztywności węzłów. Zachodzi bowiem przypadek gdy węzły połączeń elementów konstrukcyjnych zmieniają charakter pracy z typu ramowego na typ kratowy. Pojawia się zatem pytanie w jakim stopniu zmienia się chwilowa sztywność konstrukcji? Czy istnieje zagrożenie prawidłowego funkcjonowania konstrukcji?

Autor rozprawy powinien również ustosunkować się do sprawy zmiany żywotności konstrukcji na skutek zmiany liczby cykli pracy (problem zmęczenia materiału). Wprawdzie energia potencjalna odkształceń układu związana z jego drganiami będzie skutecznie rozpraszana przy wyższych częstotliwościach drgań lecz jednocześnie wzrasta liczba cykli zmęczeniowych. Czy zatem nie ma obawy, że może wzrastać zagrożenie od strony wytrzymałości materiału?

Następny problem to sprawa zagrożenia utraty lokalnej stateczności (statycznej/dynamicznej) konstrukcji na skutek zmiany sztywności węzłów. Można to stosunkowo łatwo wyjaśnić na podstawie analizy równań (1) przedstawionych na str. 34. Można bowiem w przypadku konstrukcji prętowo-belkowych (a właściwie powinno się) dodać do macierzy sztywności [K] dodać macierz sztywności geometrycznej [G] i wówczas równanie (10) w końcowym fragmencie przyjmie postać:

$$\dots\dots\dots + ([K]+[G]) x(t) = f(t).$$

W takim przypadku przy obciążeniu prętów/belek zmiennymi siłami osiowymi istnieje możliwość wystąpienia drgań parametrycznych (periodycznych i kombinowanych).

Opisy modelowania (np. na str. 34) bez schematów układu i rysunków przy studiowaniu pracy są mało komunikatywne.

Niektóre fragmenty rozprawy są nadmiernie rozbudowane opisami, np. 2.5.2 zawiera opis powszechnie znanej teorii belki Bernoulli'ego.

Autor rozprawy wspomina, że do obliczeń stosował metodę FEM (zaimplementowaną w środowisku MATLABa). Lecz nie przedstawił żadnych danych, np. rodzaju stosowanych elementów skończonych, liczby elementów, dane materiałowe (podał jedynie masy str. 50–51, lecz nie opisał materiałów).

Rozdział 3.2.2 zawiera powszechnie znane informacje i z tego powodu można było przedstawić go w skróconej wersji.

Z opisu na stronie 54-55 wynika, że Autor analizował tylko układ (2D). Czy planowane jest rozszerzenie badań na układy przestrzenne (czyli 3D)?

Str. 89 | np. rys. 3.46 – opisy zbyt małe i niejasne (mało komunikatywne). Wprowadzenie kolorów ułatwiło by analizę wyników.

Uwagi pozytywne:

Teza oraz cel pracy zostały sformułowane na podstawie dotychczasowych badań Autora, jak również szerokiego przeglądu literatury z zakresu aktywnego i pasywnego tłumienia drgań oraz teorii sterowania.

Cel pracy sformułowano jasno i precyzyjnie. Celem rozprawy było opracowanie metody półaktywnego tłumienia drgań w wiotkich, dwuwymiarowych konstrukcjach ramowych.

Zaproponowana koncepcja jest interesująca bowiem powoduje, że energia potencjalna odkształceń układu związana z jego drganiami może być transferowana do innej formy drgań (drgania o wysokich częstotliwościach) i następnie zredukowana na skutek naturalnego tłumienia materiałowego. Minimalizację drgań, traktowaną jako minimalizację amplitud drgań, uzyskiwano poprzez zmianę cech konstrukcyjnych układu oraz poprzez wprowadzenie sterowania.

Uważam, że tematyka opiniowanej rozprawy przystaje do współczesnych badań w dziedzinie drgań układów mechanicznych. Autor w pełnym wymiarze zrealizował postawione w celu zadanie naukowe. Praca napisana jest w sposób syntetyczny, z zachowaniem właściwych proporcji pomiędzy cytowaną wiedzą literaturową, a oryginalnymi koncepcjami Autora.

Do najbardziej wartościowych fragmentów rozprawy zaliczam Rozdz. 2 (*Proposed semi-active vibration control strategy*), Rozdz. 3 (*Numerical verification*) oraz Rozdz. 5 (*Optimal placement of controllable nodes*).

Do pozytywnych cech rozprawy zaliczam także zamieszczenie obszernej listy bibliografii (245 pozycji). Ponadto mgr inż. B. Popławski zamieścił na początku rozprawy odrębną listę 6 publikacji, w których Doktorant jest współautorem (w tym w 4 przypadkach pierwszym autorem). Wspomniane publikacje są powiązane merytorycznie z ocenianą rozprawą. Wszystkie prace były opublikowane w czasopiśmie z wysokim współczynnikiem IF, a więc *Mechanical Systems and Signal Processing* (2), *Smart Materials and Structures* (1), *Smart Structures and Systems* (1), *Structural Control and Health Monitoring* (1) oraz *Journal of Applied and Computational Mechanics* (1).

Uwagi końcowe

Rozprawę doktorską pt. *Semi-Active Mitigation of Vibrations in Frame Structures by Using Structural Joints with a Controllable Ability to Transmit Moments* oceniam pozytywnie. Zarówno treść pracy, jej sposób zredagowania, wnioski i ich znaczenie dla dyscypliny naukowej oceniam bardzo wysoko. Stwierdzam zarazem, że autor rozprawy ma bardzo dobre

przygotowanie do pracy badawczej. Wysoko oceniam jego wiedzę w zakresie matematyki wyższej, modelowania w mechanice i teorii drgań nieliniowych.

Stwierdzam, że na podstawie przedłożonej mi do recenzji rozprawy doktorskiej można Panu mgr inż. Błażejowi Popławskiemu nadać stopień doktora nauk technicznych.

Wniosek końcowy

W podsumowaniu pragnę podkreślić, iż przedstawiona do opinii rozprawa doktorska dokumentuje umiejętność samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemu naukowego przez jej Autora. Wykazał się On doskonałym przygotowaniem do pracy naukowej, a także dużą pracowitością. Dostrzeżone usterki w żadnym przypadku nie pomniejszają wartości naukowej pracy, która stanowi oryginalny i samodzielny dorobek naukowy Autora. W moim przekonaniu rozprawa spełnia warunki określone w art.13 ust 1 Ustawy o stopniach i tytule naukowym, w związku z art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. oraz przepisami wprowadzającymi Ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 poz. 1669). Nie mam wątpliwości, że obszar tematyczny recenzowanej rozprawy mieści się w dyscyplinie *Inżynieria Mechaniczna*. Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

