



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki

Kraków, dn. 18.04.2024 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Nieradki pt: „Zastosowanie filtracji Monte Carlo do korekcji ujemnych współczynników strat w Eksperymentalnej Statystycznej Analizie Energii” dla Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu

1. Podstawa prawna

Recenzję wykonano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu, Prof. dr hab. inż. Andrzeja Dziedzica z dn. 12 lutego 2024 r. Recenzja została wykonana zgodnie z obowiązującymi przepisami zawartymi w Ustawie z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dziennik Ustaw z 2023 r. poz. 742. W rozdz. 2 Ustawy art. 186 napisano, że stopień naukowy doktora nadaje się osobie, która posiada tytuł zawodowy magistra inżyniera, posiada w dorobku co najmniej jeden artykuł naukowy oraz przedstawiła i obroniła rozprawę doktorską. Kandydat spełnia te warunki. W artykule 187 zaznaczono, że przedmiotem rozprawy doktorskiej powinno być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Dodatkowo rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W dalszej części tej recenzji przedstawiona jest ocena spełnienia wymienionych warunków przyznania stopnia naukowego doktora.

2. Charakterystyka ogólna pracy

Oceniana praca doktorska została wykonana w Katedrze Akustyki, Multimediów i Przetwarzania Sygnałów na Wydziale Elektroniki, Fotoniki I Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem Prof. dr. hab. inż. Andrzeja Dobruckiego. Praca liczy łącznie 101 stron i jest napisana w języku polskim.

Statystyczna Analiza Energii (SEA) to metoda analizy przenoszenia dźwięku i drgań przez układy konstrukcyjne. W tej metodzie dany układ jest reprezentowany jako seria podukładów połączonych ze sobą, dla których układ równań liniowych jest w stanie opisać wejście, absorpcję, transmisję i rozpraszanie energii przez każdy podukład. Parametry w równaniach SEA uzyskuje się na podstawie hipotez

RDN AEETK/75/2024

statystycznych dotyczących właściwości dynamicznych podsystemów. Hipotezy te znacznie upraszczają analizę i umożliwiają analizę systemów, które są zbyt złożone, aby można je było analizować przy użyciu metod deterministycznych, takich jak elementy skończone. Badania eksperymentalne dowodzą dużej dokładności metody SEA, jeśli jest stosowana przy wysokich częstotliwościach. Rzeczywisty rozwój SEA rozpoczął się pracami R.H. Lyona, G. Maidanika i T.D. Shartona we wczesnych latach sześćdziesiątych XX wieku od problemów w inżynierii lotniczej i kosmicznej. W kolejnych latach metoda SEA ewoluowała i cały czas są poszukiwane nowe rozwiązania i zastosowania tej metody dla nowych konstrukcji.

Praca doktorska Pana mgr. inż. Pawła Nieradki dobrze wpisuje się w opisane zagadnienia. W pracy podjęto istotny problem walidacji obliczeń metodą SEA w przypadku, gdy nie są w pełni spełnienia założenia tej metody. W tym celu Doktorant zastosował metodę MCF (Monte Carlo Filtering) w korekcji ujemnych współczynników strat, które są wyznaczane na potrzeby budowy modeli SEA różnorodnych systemów wibroakustycznych.

Rozprawa składa się z sześciu rozdziałów, wykazu 101 pozycji bibliograficznych, 53 rysunków oraz trzech tabel oraz ze streszczenia w języku angielskim oraz w języku polskim i spisów: treści, akronimów, tabel i rysunków.

We wstępie Autor uzasadnia podjęcie wybranej tematyki podkreślając celowość realizowanych badań doświadczalnych i numerycznych. W rozdziale tym Autor formułuje również cel pracy w postaci *„Dobór odpowiedniej techniki rozszerzania obszaru poszukiwań (w tym zaproponowanej w pracy metody DESA) oraz dobór właściwego rozkładu generowanej populacji macierzy energii pozwala na uzyskanie pełnej skuteczności metody MCF w korekcji ujemnych współczynników strat identyfikowanych systemów SEA o liczbie podsystemów $N \leq 4$, niezależnie od stopnia spełnienia założeń SEA”* oraz stawia trzy pytania badawcze.

W rozdziale drugim Doktorant zamieszcza przegląd literatury, w którym uzasadnia cel badań i postawione pytania badawcze. W rozdziale tym opisane są podstawy i założenia metody SEA, eksperymentalna SEA oraz metoda filtracji Monte Carlo.

Rozdział trzeci pokazuje wkład doktoranta w rozwój metody e-ESEA i jest oparty na artykule *“Study on the effectiveness of Monte Carlo filtering when correcting negative SEA loss factors”* (Nieradka i Dobrucki (2022)) opublikowanym w czasopiśmie Archives of Acoustics. Autor opracował jednolity opis ESA oraz omówił dwa warianty ESA, w tym wariant autorski modyfikacji (DESA, Diagonal Expansion of the Search Area). Metoda filtracji Monte Carlo wraz z zaproponowaną przez Autora modyfikacją może być zastosowana w pasmach częstotliwości, dla których nie uzyskano poprawnych wyników metodą MCF w wersji podstawowej.

W rozdziale trzecim Autor przeprowadził również analizę błędów związanych z rozszerzenia obszaru poszukiwań ESA, zastosował dwie metody eliminacji tych błędów oraz zaproponował kryterium do oceny błędów oparte na całkowitym współczynniku strat TLF.

W rozdziale czwartym Doktorant opisał badane układy w liczbie trzynastu wykorzystane w badaniach doświadczalnych oraz stanowiska pomiarowe E-SEA. Opisana jest również procedura pomiarów.

Rozdział piąty zawiera analizę wyników, w której zastosowano dwie metody walidacji opisane w rozdziale trzecim. Doktorant zbadał wpływ stopnia spełnienia założeń metody SEA na skuteczność metody MCF dla pojedynczej płyty i układu dwupłytkowego złącza spawanego, gumowego i punktowego o różnym stopniu wytłumienia. Wyniki obliczeń zostały następnie porównane z wynikami obliczeń numerycznych uzyskanymi przy zastosowaniu oprogramowania COMSOL i VaOne.

W drugim etapie walidacji Autor zastosował technikę ESA oraz opracowane metody minimalizacji błędów dla układu trójpłytkowego uwzględniając zjawisko jednoczesnego powstawania fali giętej i podłużnej oraz tunelowania.

Podsumowanie wyników przeprowadzonych analiz i badań, dyskusję i dalsze kierunki badań Autor zawarł w rozdziale szóstym kończącym merytoryczną część podjętego tematu.

3. Merytoryczna ocena pracy doktorskiej

3.1. Ocena układu rozprawy doktorskiej oraz wykorzystanego piśmiennictwa

Oceniana rozprawa doktorska zawiera wszystkie niezbędne elementy składowe. W rozdziale pierwszym zawarto wprowadzenie do podjętej tematyki badawczej, przedstawiono motywacje i cel pracy. W kolejnym rozdziale Autor rozprawy opisał stan aktualnych badań o zbliżonej tematyce prowadzonych zarówno w ośrodkach krajowych jak i zagranicznych. Przedstawiono zarówno starsze podstawowe pozycje literaturowe jak prace zawierające najnowsze wyniki badań. W kolejnych rozdziałach przedstawia rozwój metody Statystycznej Analizy Energii, w tym metodę E-SEA wykorzystane w pracy metody badawcze, szczegółowo opisał wykorzystaną aparaturę oraz zaprojektowane i zrealizowane stanowiska badawcze. Dalej omówione zostały wyniki badań doświadczalnych i numerycznych. Całość została zakończona analizą wyników, posumowaniem ze wskazanymi kierunkami dalszych badań. Dodatkowo Autor zamieścił w pracy spisy rysunków i tablic oraz listę stosowanych akronimów. Układ i strukturę pracy oraz użyte piśmiennictwo mogą uznać w pełni za prawidłowe.

3.2. Ocena tezy i celu pracy

Kandydat jako cel swojej pracy doktorskiej wskazał zastosowanie odpowiednich technik rozszerzania obszaru poszukiwań (w tym zaproponowanej w pracy metody DESA) oraz dobór właściwego rozkładu generowanej populacji macierzy energii pozwala na uzyskanie pełnej skuteczności metody MCF w korekcji ujemnych współczynników strat identyfikowanych systemów SEA o liczbie podsystemów $N \leq 4$, niezależnie od stopnia spełnienia założeń SEA. Tak sformułowany cel pracy wpisuje się tematykę związaną z optymalizacją zagadnień dotyczących transmisji i redukcji drgań i hałasu. Kandydat cel swojej pracy doktorskiej opisał w postaci trzech pytań badawczych:

1. Jaki wpływ na skuteczności metody MCF (Monte Carlo Filtering) ma stopień spełnienia założeń SEA (metoda Statystycznej Analizy Energii)?
2. Czy metodę MCF można zastosować jako empiryczny wskaźnik granic stosowalności SEA (poprzez wskazanie zakresu częstotliwości, gdzie ujemne współczynniki CLF (Coupling Loss Factors) nie mogą zostać skorygowane)?
3. Jaka jest skuteczność metody MCF dla bardziej złożonych systemów zawierających podsystemy nie będące ze sobą bezpośrednio połączone oraz systemy, gdzie występuje zjawisko rozszczepienia fali?

Tak sformułowany cel pracy wpisuje się w tematykę związaną z aktualnymi zagadnieniami predykcji rozplywu energii w układach mechanicznych. Autor podejmuje się opracowania autorskiej modyfikacji metody MCF w celu uzyskania wysokiej zgodności obliczeń numerycznych z wynikami badań doświadczalnych. Badania w tej tematyce wymagają umiejętności rozwiązywania wielu wzajemnie powiązanych problemów cząstkowych. Niezbędne jest rozwiązanie problemów akustycznych, wibracyjnych, planowania eksperymentów, przetwarzania sygnałów. Są to więc badania interdyscyplinarne. Jednocześnie otrzymane wyniki mają wyraźne przełożenie użytkowe. Pozwalają bowiem na znaczną parametrów akustycznych maszyn, urządzeń i pojazdów. Uważam, że podjęta problematyka jest istotna zarówno z naukowego punktu widzenia jak ze względu na wymierne wyniki użytkowe. Cel pracy jest w pełni uzasadniony potrzebami tych środowisk i pozwala na uzyskanie oryginalnych wyników naukowych.

3.3. Ocena wykorzystanych metod badawczych

Kandydat w rozprawie doktorskiej wykorzystuje głównie dwie metody badawcze: doświadczalne i numeryczne. Wymaga to umiejętnego wykorzystania zaawansowanych technik pomiarowych, doboru odpowiednich czujników amplitudy drgań, ciśnienia akustycznego, układów konwersji analogowo-cyfrowej, konstrukcji i oprogramowania układów mikroprocesorowych realizujących algorytmy sterowania automatycznego układów dynamicznych. Autor wykorzystuje techniki rozszerzania obszaru poszukiwań. Wykorzystane przez Kandydata metody badawcze są interdyscyplinarne, wymagają bowiem wiedzy oraz biegłości z zakresie więcej niż jednej dyscypliny. Uważam, że wybór oraz wykorzystanie metod badawczych są prawidłowe.

3.4. Ocena omówienia wyników badań oraz ich oryginalności

Przeprowadzone badania pozwoliły na walidację metody MCF dla 16 różnych układów, a tym samym na uzyskanie odpowiedzi, na postawione pytania. Na podstawie analizy stopnia rozszerzenia obszaru poszukiwań, Doktorant wykazał, że wraz ze z rozszerzeniem obszaru poszukiwań rośnie asymetria populacji mierzona współczynnikiem skalujący γ . Autor zaproponował nowy parametr umożliwiający opisanie stopienia asymetrii populacji macierzy energii - wskaźnik asymetrii α oraz dwie metody (oznaczone jako A i B) eliminacji błędu przesunięcia polegające na wymuszeniu symetrii populacji macierzy energii a także opracował metodę DESA polegającą na zastosowaniu niejednorodnego rozszerzenia obszaru poszukiwań podczas generacji populacji Monte Carlo. Metoda ta pozwoliła na skorygowanie ujemnych współczynników strat w wybranych pasmach częstotliwości. Doktorant udowodnił, że metody UESA, jak i DESA mogą być metodami efektywnymi, gdy do generacji populacji zostanie przyjęty rozkład logarytmicznie normalny.

Doktorant uzyskał dużą zbieżność między CLF wyznaczonymi pomiarowo, a CLF wyznaczonymi numerycznie w przypadku prostych złączy (spawanych), natomiast w przypadku złączy skomplikowanych wyznaczył górną i dolną wartość graniczną współczynników CLF.

Opracowane i przedstawione autorskie metody DESA i korekcji błędów związanych z asymetrią populacji MCF oraz uzyskane wyniki badań doświadczalnych można uznać w pełni za oryginalny wkład Kandydata do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

3.5. Edytorska ocena pracy i uwagi dyskusyjne

Rozprawa doktorska jest napisana bardzo starannie z niewielką liczbą błędów edytorskich.

- Jaka jest niepewność pomiarów?

- W metodzie SEA bardzo często zjawisko tunelowania jest uwzględniane poprzez wprowadzenie dodatkowego podukładu akustycznego 3D. Jakie wystąpiły by różnice pomiędzy przyjętym sposobem modelowania a modelem z dodatkowymi podukładem?

- W przypadku układu fizycznego, w który propagują się zarówno fale podłużne jak i giętne można rzeczywisty układ zastąpić dwa podukładami, w których propagują się pojedyncze fale. Jakie wystąpiły by sprzężenia i różnice pomiędzy przyjętym sposobem modelowania a modelem z podziałem na dwa podukłady?

3.6. Ocena dotycząca ogólnej wiedzy Kandydata w dyscyplinie oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Analizując przedstawioną do oceny rozprawę doktorską można stwierdzić, że Kandydat umiejętnie korzysta z dostępnych badań w literaturze naukowej, dobiera odpowiednie metody badawcze, prawidłowo je stosuje i analizuje. Wyniki badań przedstawia w czytelny i przejrzysty sposób. Uzyskane wyniki badań zostały opublikowane w czasopismach naukowych o uznanej renomie.

Kandydat opublikował wyniki swoich prac badawczych w renomowanych czasopismach takich jak „Acoustics”, „Archives of Acoustic”, „Archives of Mechanics”. Na uwagę zasługuje fakt, że w 2 głównych artykułach oraz w doniesieniach konferencyjnych jest pierwszym współautorem co wskazuje na jej wiodącą rolę w tych pracach.

4. Podsumowanie

Opracowane i przedstawione autorskie metody DESA i korekcji błędów związanych z asymetrią populacji MCF oraz uzyskane wyniki badań doświadczalnych można uznać w pełni za oryginalny wkład Kandydata do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Rozwiązane zagadnienia mogą zostać wykorzystane użytkowo i praktycznie.

Doktorant wykazał się umiejętnością poprawnego wyboru i sformułowania naukowego celu pracy. Następnie konsekwentnie, z dobrą znajomością zagadnienia, cel ten zrealizował. Pozwala to stwierdzić zdolność doktoranta do prowadzenia efektywnej, samodzielnej pracy naukowej. Stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Jerzy Wiciak

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie