

dr hab. inż. Maciej Ławryńczuk, prof. uczelni
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 15/19
00-665 Warszawa

7.6.2022

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika
wpłynęło dnia 14.06.2022
nr 12 zat.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Anny Chrapońskiej
pt. „Noise and vibration reduction of a device enclosed
in a thin-walled casing with the use of structural
interactions”

wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Automatyka,
Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Śląskiej
w Gliwicach

1. Ogólna charakterystyka, zakres, cel i teza rozprawy

Praca doktorska mgr. inż. Anny Chrapońskiej, pt. „Redukcja hałasu i drgań urządzenia zamkniętego w cienkościennej obudowie z wykorzystaniem oddziaływań strukturalnych”, powstała pod opieką prof. dr hab. inż. Marka Pawełczyka na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Doktoranta zauważa, że wiele badań dotyczących metod redukcji drgań i hałasu odbywa się w komorach bezdechowych albo w pomieszczeniach, których ściany pokryte są odpowiednim materiałem. Takie warunki nie uwzględniają jednak zjawiska odbijania się fali dźwiękowej od rzeczywistych powierzchni. Recenzowana rozprawa rozwija nowatorskie podejście do aktywnej strukturalnej kontroli hałasu przy użyciu lekkiej, cienkościennej obudowy urządzenia umieszczonej przy ścianie lub w narożu, które zostało opracowane w Zespole Promotora. Doktorantka zauważa, że cechy struktur dwupanelowych nie zostały dogłębnie przebadane. W szczególności, istnieje możliwość zaproponowania wielu nowatorskich rozwiązań wzbogacenia struktur dwupanelowych, co ma poprawić ich własności wibroakustyczne.

Głównym celem pracy jest rozwój idei wykorzystania oddziaływań strukturalnych jako metody redukcji drgań oraz/lub hałasu generowanych przez urządzenie zamknięte w cienkościennej obudowie. Teza pracy (s. 6) jest następująca: *Wybrane oddziaływania w strukturze*

dwupanelowej, lub pomiędzy panelami obudowy urządzenia a powierzchniami odbijającymi pomieszczenia, mogą zostać wykorzystane w celu poprawy własności wibroakustycznych obudowy, a w konsekwencji – redukcji emitowanych drgań i hałasu.

Dziedzina związana z aktywną redukcją hałasu ma bardzo duże znaczenie praktyczne, ponieważ nadmierny hałas wytwarzany przez urządzenia techniczne, zarówno wykorzystywane w domu jak i w przemyśle, ma bardzo negatywny wpływ na ludzkie zdrowie. Badania związane z różnymi systemami aktywnej redukcji hałasu są prowadzone od wielu lat w Zespole Promotora recenzowanej rozprawy. W wyniku prac opracowano szereg oryginalnych rozwiązań. Badania prowadzone przez mgr inż. Annę Chrapońską są kontynuacją i rozwinięciem prac Zespołu. Wykonane badania zdecydowanie można przypisać do dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

2. Zawartość merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa liczy 137 stron, zawiera 5 rozdziałów. Na początku rozprawy podano listę użytych symboli oraz streszczenie w języku polskim i angielskim, listę skrótów, listę symboli, a także listę tabeli i rysunków. Spis literatury zawiera 155 pozycji bibliograficznych. Na końcu rozprawy znajduje się krótki skorowidz.

Pierwszy rozdział rozprawy jest wprowadzeniem. Podano krótkie, ale całkowicie wystarczające, wprowadzenie do tematyki aktywnej redukcji hałasu, krótko scharakteryzowano metody redukcji hałasu, opisano właściwości obudów jednopanelowych oraz dwupanelowych. Dokonano przeglądu literatury. Następnie podano motywacje do podjęcia badań, sformułowano cel i tezę pracy, a także omówiono zawartość poszczególnych rozdziałów pracy. W drugim rozdziale omówiono wykorzystywane stanowisko laboratoryjne, w budowie którego uczestniczyła Doktorantka. Omówiono przypadek obudowy lekkiej i sztywnej. W szczególności, dokładnie omówiono zastosowane czujniki i elementy wykonawcze. Trzeci rozdział rozprawy opisuje wyniki badań uzyskanych dla lekkiej, cienkościennej obudowy, natomiast czwarty rozdział omawia wyniki uzyskane dla rozwiązań dwupanelowych. Znaczną część czwartego rozdziału zajmuje omówienie zagadnień modelowania struktur jednopanelowych i dwupanelowych. Omówione zostały modele teoretyczne, oparte na literaturze, a także modele empiryczne, otrzymane przez Doktorantkę. W piątym rozdziale podsumowano prowadzone prace. W szczególności, wypunktowano oryginalne osiągnięcia Doktorantki. Wymieniono też możliwe kierunki przyszłych prac.

3. Ocena rozprawy

3.1. Ocena merytoryczna rozprawy

W recenzowanej rozprawie omówiono zastosowanie metod redukcji hałasu z wykorzystaniem oddziaływań strukturalnych. Omówiono również modyfikację struktury dwupanelowej, w której zostawano solenoidy jako elementy sprzęgające.

W pierwszej części prac zastosowano metodę aktywnej strukturalnej kontroli hałasu w celu globalnej redukcji hałasu. Doktorantka analizowała oddziaływanie obudowy lekkiej, w której mieściło się źródło hałasu, z powierzchniami odbijającymi, takimi jak ściana lub naroże. Badano ścieżki pierwotne i wtórne. Wyznaczono optymalną odległość między obudową a ścianą, dla których otrzymano najlepszą redukcję wzmocnienia ścieżek pierwotnych i wtórnych dla przyjętych zakresów częstotliwości. Wykazano, że wzrost lub spadek wzmocnienia ścieżek pierwotnych i wtórnych jest równoważny. Dla konfiguracji obudowy w narożu pokazano, że odpowiednie ustawienie mikrofonów oraz dobór odległości między obudową a narożem mogą prowadzić do wzrostu stopnia redukcji hałasu w szerszym zakresie częstotliwości niż w przypadku pomieszczenia pokrytego pianką. Doktorantka odnotowała wpływ wzbudników na panelach naprzeciw naroża na wydajność systemu sterowania, co wynika ze zjawiska sprzężeń wibracyjnych między panelami obudowy. Zaproponowano uproszczenie systemu sterowania pod kątem liczby mikrofonów błędu i urządzeń wykonawczych.

W drugiej części prac uwzględniono interakcje między panelami struktury dwupłytowej. Ponieważ wstępne badania z pojedynczym, centralnym solenoidem nie przyniosły zadowalających rezultatów, między panelami umieszczono pięć elementów sprzęgających. Przeprowadzono analizę wpływu solenoidów na redukcję drgań panelu. Dokonano analizę drgań w dziedzinie częstotliwości, która wskazała, że możliwa jest redukcja drgań w szerokim zakresie częstotliwości w proponowanej konfiguracji. Pokazano, że modyfikacja struktury dwupanelowej przynosi zadowalające rezultaty pod względem redukcji drgań oraz wzrostu izolacyjności akustycznej. Doktorantka potwierdziła zasadność zastosowania struktur dwupanelowych, które zawierają elementy elektromagnetyczne jako sprzężenia do celów redukcji drgań i hałasu.

W mojej ocenie, udało się z powodzeniem zrealizować cel pracy oraz wykazać słuszność jej tezy (s. 6). Zaproponowane przez Doktorantkę rozwiązania konstrukcyjne mogą być z powodzeniem zastosowane w projektowaniu systemów redukcji hałasu, które będą wykorzystane w praktyce. Jeżeli chodzi o ocenę zaproponowanych rozwiązań technicznych oraz przeprowadzone badania laboratoryjne, według mnie reprezentują one bardzo wysoki poziom. Mam jedynie następujące drobne uwagi:

1. W podsumowaniu rozprawy (s. 115-116), Doktorantka krótko wypunktowuje swoje dokonania. W trzech przypadkach brakuje mi uszczegółowienia zakresu prac zespołowych. Doktorantka wspomina o udziale w budowie stanowiska laboratoryjnego, udziale w badaniach eksperymentalnych oraz o udziale w pracach teoretycznych dotyczących koncepcji aktywnych, półaktywnych i pasywnych sprzężeń między panelami struktury dwupanelowej. Spodziewałbym się konkretnego wyszczególnienia przeprowadzonych przez Doktorantkę prac, a nie tylko ogólnego sformułowania „udział w...”. Dodatkowo, możliwe jest podanie udziału procentowego. Niestety, nie jest również możliwe określenie indywidualnego udziału Doktorantki na podstawie publikacji. W trzech publikacjach, które ukazały się w czasopiśmie, Doktorantka jest na pierwszym miejscu listy autorów, a więc rozumiem, że ma dominujący udział w badaniach i publikacji, ale wciąż nie wiadomo konkretnie co zrobiła.

2. Wszystkie modele, które porównano na rys. 46, są bardzo niedokładne. Podane na s. 73 omówienie jakości modeli wydaje się niewystarczające. W tym miejscu pracy spodziewałbym się dyskusji na temat przyczyn takiej, a nie innej, jakości modeli. Spodziewałbym się również próby dostrojenia modelu do danych. Dlaczego do porównania modeli z rys. 46 nie użyto wskaźników jakości wykorzystanych w podrozdziale 4.3.6?
3. W podrozdziale 4.3.6, dotyczącym modelowania przy wykorzystaniu uczenia maszynowego, brakuje wielu istotnych szczegółów:
 - a) Przede wszystkim, opis identyfikacji modeli jest niezwykle lakoniczny, np. nie ma podanych równań opisujących poszczególne modele.
 - b) Na s. 74 jest mowa o modelach najmniejszych kwadratów (ang. ordinary least squares models). Nie jest to określenie poprawne, ponieważ metoda najmniejszych kwadratów służy do wyznaczenia parametrów modeli liniowo zależnych od parametrów, w tym modeli liniowych. Doktorantka nie podaje zależności definiującej model, nie wiadomo jaka jest jego struktura i jakie ma parametry.
 - c) Podobnie, model w postaci drzewa decyzyjnego oraz model w postaci lasu losowego nie są zdefiniowane odpowiednimi równaniami.
 - d) Dlaczego Doktorantka wspomina o podziale danych na zbiór uczący i testowy dopiero podczas omawiania modelu w postaci drzewa decyzyjnego? Podział danych powinien być taki sam w przypadku wszystkich porównywanych modeli i omówiony na początku podrozdziału.
 - e) W tekście używane są terminy zbiór uczący (ang. training data set) oraz zbiór testowy (ang. test data set). W wielu publikacjach dotyczących modnej ostatnio dziedziny uczenia maszynowego jest wiele nieprecyzyjnych informacji, ale większość ekspertów stosuje określenie zbiór weryfikujący lub walidujący (ang. validation data set) zamiast używanego przez Doktorantkę określenia zbiór testowy. Służy on do porównania jakości szeregu wyznaczonych modeli i wyboru jednego z nich. Może być również wykorzystany podczas uczenia do monitorowania błędu weryfikacji w celu zatrzymania uczenia. Zbiór testowy jest natomiast stosowany do finalnego testowania wybranego modelu.
 - f) Dlaczego wskaźniki jakości modeli są wprowadzone dopiero na potrzeby omówienia wyników modelu w postaci drzewa decyzyjnego? Wskaźniki jakości powinny być zdefiniowane na początku podrozdziału. Wartości wskaźników powinny być podane dla wszystkich modeli, również dla pierwszego modelu, zwanego przez Doktorantkę modelem najmniejszych kwadratów. Najlepszą metodą prezentacji jest tabela.
 - g) Na potrzeby modelu w postaci drzewa decyzyjnego oraz modelu lasu losowego stosuje się dwie metody podziału na zbiór uczący i weryfikujący, zwany przez Doktorantkę zbiorem testowym. W pierwszym przypadku zastosowano podział danych w proporcji 70% i 30%, natomiast w drugim przypadku w proporcji 30% i 70%. Dlaczego nie użyto tej metody do sprawdzenia odporności pierwszego modelu, zwanego przez Doktorantkę modelem najmniejszych kwadratów?
 - h) Bardzo małym nakładem pracy Doktorantka mogła uzyskać interesujące wyniki, np. pokazać jaki jest wpływ parametrów konfiguracyjnych modeli na ich jakość. Modele zostały wyznaczone tylko dla jednej konfiguracji.

i) Omówienie uzyskanych wyników jest bardzo lakoniczne.

Bardzo proszę Doktorantkę o przygotowanie odpowiedzi na powyższe uwagi na piśmie i przesłanie ich do mnie pocztą elektroniczną co najmniej tydzień przed obroną.

3.2. Poprawność językowa rozprawy

Praca napisana jest bardzo dobrym językiem angielskim. Bardzo mi się podoba, że Doktorantka nie używa żargonu, ani nie nadużywa skrótów. Pod drugie, bardzo doceniam fakt, że praca napisana jest bardzo konkretnie. Na przykład, bardzo dobrze napisany jest wstęp (rozdział 1). Jest on krótki, liczy niecałe 7 stron, ale wprowadza czytelnika w tematykę redukcji hałasu, skrótowo omawia najważniejsze metody, definiuje cel i tezę pracy, a także omawia jej organizację. Poza ostatnią częścią podrozdziału 4.3.5 i całym podrozdziałem 4.3.6, wszystkie szczegóły techniczne i teoretyczne, a także obserwacje i wnioski, są na tyle szczegółowe, aby całkowicie zrozumieć rozważane zagadnienia, ale nie zauważyłem niepotrzebnie długich wstępów i opisów, które zniechęcają czytelnika do zapoznania się z tekstem. W szczególności, bardzo dobrze opisane są zagadnienia konstrukcyjne oraz przeprowadzone badania laboratoryjne.

3.3. Poprawność redakcyjna rozprawy

Redakcja tekstu, wzorów i tabel recenzowanej rozprawy doktorskiej stoi na wysokim poziomie. Wszystkie szczegóły wzorów matematycznych są doskonale widoczne i omówione w tekście. Jakość większości rysunków jest dobra. Zauważyłem jedynie następujące drobne uchybienia:

1. W recenzowanej rozprawie podano literaturę w kolejności cytowania. Przyznam, że jest to dla mnie spore utrudnienie, kolejność alfabetyczna (według nazwiska pierwszego autora) jest znacznie wygodniejsza dla czytelnika.
2. Wartości liczbowe wskaźników na s. 75-76 przedstawiono podając kilkanaście cyfr po kropce dziesiętnej. Ponieważ poszczególne wskaźniki istotnie się od siebie różnią, nie ma potrzeby stosowania takiej dokładności, wystarczą np. 4 cyfry po kropce dziesiętnej.
3. Większość rysunków zamieszczonych w pracy (szczególnie wykresy z programów MATLAB oraz Python) są wektorowe. Dlaczego niektóre z nich (rys. 20, 32, 33, 58-62, 66) są bitmapowe? Negatywnie wpływa to na jakość pracy.
4. Jest zrozumiałe, że prace naukowe Doktorantka prowadziła kilka lat, w tym czasie przygotowała sporo publikacji. Rozprawa doktorska podsumowuje badania i nie jest korzystne, gdy czytelnik ma wrażenie, że omawiany materiał nie został na potrzeby rozprawy doktorskiej ujednolicony, poprawiony i ew. rozszerzony. Rys. 58-62 powinny być powtórnie sporządzone na potrzeby pracy doktorskiej, a nie „przeklejone” z publikacji. Jest to tym bardziej uzasadnione, że kolory na wymienionych rysunkach są bardzo do siebie zbliżone, co powoduje, że rozróżnienie poszczególnych krzywych na wymienionych rysunkach jest bardzo trudne.
5. Czytelnik zadaje sobie pytanie czy modele z rys. 46 oraz 47-49 dotyczą tego samego zagadnienia. Przecież nawet wizualnie wyglądają one inaczej, inne są oznaczenia osi x i legendy. Analogicznie, opis modeli z wymienionych rysunków powinien być ujednolicony.

6. Nie oznaczono początku osi x na rys. 46.
7. Zakres osi x na rys. 47-49 nie jest oznaczony.

Podsumowując, pomimo wypunktowanych powyżej drobnych mankamentów pracy, moja ocena merytoryczna rozprawy, poprawności językowej oraz redakcji jest jednoznacznie pozytywna. Uważam, że praca reprezentuje bardzo wysoki poziom naukowy, ma duże znaczenie praktyczne i jest dobrze napisana.

4. Ocena dorobku publikacyjnego Doktorantki

W dorobku Doktorantki znajdują się następujące prace:

- a) trzy prace opublikowane w czasopiśmie *Sensors* (obecny współczynnik wpływu IF=3,576, 100 pkt. na liście MEiN),
- b) jedna praca opublikowana w czasopiśmie *Applied Sciences* (obecny współczynnik wpływu IF=2,679, 100 pkt. na liście MEiN),
- c) trzy prace publikowane w czasopiśmie *Archives of Acoustics* (obecny współczynnik wpływu IF=0,913, 100 pkt. na liście MEiN),
- d) dwanaście prac konferencyjnych, z czego niektóre zostały opublikowane jako rozdziały w książkach, a pozostałe w materiałach konferencyjnych.

Wszystkie wymienione publikacje są wieloautorskie, przy czym Doktoranta występuje na pierwszym miejscu listy autorów trzech artykułów opublikowanych w czasopismach i czterech prac konferencyjnych.

Sumaryczny dorobek publikacyjny mgr inż. Anny Chrapońskiej jest bardzo dobry. Dużą trudnością dla recenzenta jest brak zwięzłego określenia indywidualnego udziału Doktorantki w poszczególnych publikacjach. Dlatego proszę o dołączenie takiego materiału do odpowiedzi na moje uwagi merytoryczne zawarte w pkt. 3.1 recenzji (tylko w przypadku siedmiu wymienionych powyżej artykułów, które ukazały się w czasopismach).

5. Inne osiągnięcia Doktorantki

Mgr inż. Anna Chrapońska jest współautorką trzech zgłoszeń patentowych (postępowanie w toku). Doktoranta uczestniczyła w projekcie badawczym finansowanym ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach konkursu OPUS 13 pt. „Modelowanie, optymalizacja i sterowanie dla celów strukturalnej redukcji hałasu urządzeń”, który był realizowany w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej w latach 2018-2021.

6. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Badania prowadzone przez Doktorantkę mają bardzo duże znaczenie praktyczne. Mogą być bezpośrednio wykorzystane do projektowania systemów aktywnego tłumienia hałasu i znaleźć liczne zastosowanie praktyczne. Przedstawione wyniki są istotne dla dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

7. Do której z następujących kategorii recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- c) spełniająca wymagania,
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,
- e) **wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.**

Mam nadzieję, że Doktorantka przygotuje pisemne odpowiedzi na moje uwagi zawarte w pkt. 3.1 oraz 4 niniejszej recenzji, które potwierdzą powyższą opinię.

8. Podsumowanie

Mgr inż. Anna Chrapońska w pełni zrealizowała podany na wstępie cel rozprawy, a także wykazała słuszność sformułowanej tezy. Wykazała się przy tym wiedzą i umiejętnością samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów technicznych. Dlatego stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pt. „Noise and vibration reduction of a device enclosed in a thin-walled casing with the use of structural interactions” spełnia wymagania ustawowe, określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, art. 186 (Dz. U. 2018 poz. 1668). Wnioskuje o jej przyjęcie, a także dopuszczenie do publicznej obrony.

9. Wniosek o wyróżnienie

Z przyjemnością wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Anny Chrapońskiej. W mojej ocenie spełnione są wszystkie warunki wymienione w Uchwale Senatu Politechniki Śląskiej nr 126/2019 (§14), a mianowicie:

- a) recenzja rozprawy jest wysoce pozytywna,
- b) rozprawa ma wysoką wartość merytoryczną,
- c) wyniki rozprawy zostały opublikowane w formie siedmiu oryginalnych prac w wysokopunktowanych czasopismach naukowych, posiadających wskaźnik IF, przy czym Doktorantka występuje na pierwszym miejscu listy autorów w trzech artykułach.

Marcin Lauryniuk