Gliwice 13.01.2014r

dr hab. inż. Sławomir Duda, prof. nzw. w Pol. Śl.
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska w Gliwicach

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Tomasza Machoczka

pod tytułem:
„System sterowania mechatronicznego zawieszenia pojazdu gąsienicowego"

podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Arkadiusza Mężyka nr RMT0-189/D/006/13/14 z dnia 14.11.2013, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Przegląd dostępnych aplikacji do modelowania i symulacji złożonych mechatronicznych zawieszeń pojazdów gąsienicowych, w kontekście badania i oceny ich wibroizolacji oraz niezawodności działania dla różnych warunków eksploatacyjnych wskazuje, że celowe jest poszukiwanie nowych i udoskonalanie istniejących algorytmów obliczeniowych w tym obszarze, obudowanych skutecznymi narzędziami numerycznymi. Szczególną grupę pojazdów mechanicznych stanowią szybkobieżne pojazdy gąsienicowe. Badania symulacyjne dynamiki ruchu pojazdów, w tym ze sterowanym zawieszeniem wymaga opracowania modeli – zarówno samego pojazdu, jak i modelu sterowania. Choć modele te są wprawdzie opisywane w literaturze, lecz obszarem naukowym wciąż nie w pełni rozpoznanym jest aplikacyjny charakter tych badań umożliwiający zastosowanie prostego a zarazem skutecznego narzędzia do tłumienia drgań w pojazdach. Wiarygodne modele obliczeniowe stają się cennym narzędziem przy projektowaniu pojazdów, czy ich mechanizmów. Zazwyczaj układy redukcji drgań stosowane w pojazdach

BIURO DZIEKANA
RMT 2014 -01- 13
L. dz. 309/D/006/2013/14

wykazują dość duży stopień skomplikowania, a ich działanie jest w wielu przypadkach opisywane modelami nieliniowymi. Obecnie często rozważana jest przydatność różnorodnych metod sterowania w aspekcie skuteczności działania wibroizolatorów aktywnych i półaktywnych.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce. Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny naukowej „Mechanika".

2. Przegląd treści pracy

W pracy zaprezentowano metodologię sterowania aktywnym zawieszeniem w wielokołowych pojazdach specjalnych, w tym gąsienicowych, ze względu na kryterium minimalizacji oscylacji ruchu nadwozia pojazdu, wymuszonego przejazdem przez nierówności terenu. Rozprawę doktorską podzielono na dziewięć rozdziałów, uzupełnionych spisem literatury, wykazem rysunków, spisem tabel i jednym dodatkiem do pracy.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Wprowadzenie", zamieszczono opis dotychczasowego stanu zagadnienia, sformułowano cel pracy o następującej treści: „Celem pracy jest opracowanie systemu sterowania mechatronicznego zawieszenia pojazdu gąsienicowego z wykorzystaniem modelu numerycznego przykładowego pojazdu wielokołowego, przeznaczonego do realizacji zadań specjalnych". Ponadto w rozdziale tym autor przedstawił zakres pracy.

Rozdział drugi, jednostronicowy, został poświęcony przytoczeniu pojęcia Mechatronika.

W rozdziale trzecim zawarto podział i omówienie mechanizmów jezdnych stosowanych obecnie jak i na przestrzeni lat w pojazdach przeznaczonych do poruszania się poza drogami utwardzonymi.

Rozdział czwarty stanowi wprowadzenie do zagadnień rozpatrywanych w rozprawie doktorskiej. Zaprezentowano w nim strukturę aktywnych układów redukcji drgań, w tym układów semiaktywnych. Ponadto autor scharakteryzował podstawowe metody aktywnego sterowania drgań.

Rozdział piąty dotyczy zarówno badań modelowych jak i doświadczalnych. Autor przedstawił w nim model obiektu symulującego zachowanie tzw. ćwiartki samochodu. Opracował nieliniowy model matematyczny, a następnie dokonał jego linearyzacji w punkcie pracy. Dla tak otrzymanego modelu na podstawie jakości dopasowania odpowiedzi modelu i obiektu rzeczywistego, dokonał identyfikacji parametrów modelu, wykorzystując do obliczeń numerycznych środowisko programowe Matlab. Model ten w dalszej części rozdziału został wykorzystany do analizy jakości algorytmów sterowania masą resorowaną. Ponadto rozdział ten zawiera opis działań związanych z budową autorskiego urządzenia elektronicznego związanego z przetwarzaniem sygnałów elektrycznych, a wymaganych w sterowaniu charakterystyką tłumika magnetorologicznego.

Rozdział szósty poświęcony został przedstawieniu modelowania i symulacjom numerycznym modelu pojazdu sześciokołowego. Opracowano dynamiczne równania ruchu pojazdu we współrzędnych uogólnionych oraz przedstawiono ich implementację w środowisku programowym Matlab/Simulink. W dalszych podrozdziałach przedstawiono modele aktywnego sterowania zawieszeniem pojazdu oparte o algorytmy typu Sky – hook dla dwóch trybów działania tzw. dwustanowego i ciągłego - opartego o koncepcję tłumienia krytycznego w układzie. Rozdział ten zamyka bogata biblioteka rysunków ilustrujących przebiegi czasowe parametrów kinematycznych wybranych punktów kadłuba pojazdu, widm amplitudowo – częstotliwościowych i funkcji przenoszenia drgań (str. 78 - 120). Na końcu rozdziału zamieszczono wnioski z przeprowadzonych symulacji.

W rozdziale siódmym przedstawiono zmodyfikowany model aktywnego sterowania, typ Sky – hook ciągły, układu redukcji drgań pojazdu gąsienicowego. Sterowanie tego typu zostało przetestowane w rozdziale szóstym na modelu pojazdu sześciokołowego. W kolejnym podrozdziale przedstawiono wyniki z rzeczywistego przejazdu pojazdu gąsienicowego przez przeszkodę. Uzyskano przebiegi czasowe wybranych punktów pomiarowych wykorzystując w tym celu dedykowane stanowisko do analizy ruchu. W rozdziale tym zaproponowano również miejsca rozmieszczenia i rodzaj czujników wymaganych w procesie sterowania zawieszeniem pojazdu gąsienicowego.

Rozprawa kończy się przedstawieniem dalszych kierunków badań (rozdział 8) oraz wnioskami końcowymi i podsumowaniem pracy (rozdział 9).

3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena

Recenzowana praca doktorska reprezentuje wysoki poziom naukowy. Przedstawiona kompozycja pracy jest właściwa, poszczególne rozdziały tworzą logiczną i wspólną całość. Zaletą rozprawy jest przejrzysty układ treści. Doktorant stopniowo wprowadza czytelnika w problematykę, od podstawowych, prostych zagadnień do złożonych. Taki układ treści powoduje, że zagadnienia prezentowane w pracy przedstawione są w sposób przejrzysty i konsekwentny.

Główną wartością pracy jest to, że autor podjął się trudnego zadania: opracowania systemu sterowania zawieszeniem szybkobieżnych pojazdów gąsienicowych.

W pracy przedstawiono komputerowe narzędzie odpowiednie do badania skuteczności zaproponowanego rozwiązania tj. algorytmu sterowania poszczególnymi segmentami zawieszenia pojazdu. Analizując istniejący stan wiedzy, dotyczącej zagadnień modelowania sterowanych układów zawieszeń w pojazdach specjalnych, doktorant zaproponował metodę badawczą, umożliwiającą symulowanie numeryczne ruchu nadwozia pojazdu powstałego w wyniku wielorakich pobudzeń pochodzących od przejazdu kół pojazdu przez nierówności terenu oraz opracował system aktywnego sterowania tym ruchem. Doktorant przeprowadził badania z wykorzystaniem odpowiednich modeli, opracowanych przez Niego w środowisku programu Matlab. W szczególności zbudował On i przeliczył model pojazdu kołowego wraz z modelem aktywnego sterowania zawieszeniem pojazdu.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne. Dotyczy bowiem istotnych zagadnień modelowania aktywnego sterowania ruchem nadwozia pojazdów, w tym pojazdów specjalnego przeznaczenia.

Rozprawa napisana jest jasnym, poprawnym językiem.

Na wyróżnienie zasługuje cytowana i omawiana bibliografia. Jej dobór przekonuje mnie, iż autor znakomicie porusza się w prezentowanym w rozprawie zagadnieniu. Dobór rysunków i wykresów uważam za właściwy.

Wszystkie wymienione tutaj elementy pracy stanowią o dużej jej wartości merytorycznej.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne, do których zaliczyłbym:

- w pracy zabrakło dyskusji dotyczącej możliwości zastosowania opracowanego algorytmu sterowania zawieszeniem pojazdu, opracowanego pierwotnie dla pojazdu kołowego, a następnie zaproponowanego dla pojazdu gąsienicowego - a tym samym przyjęciu założenia o braku wpływu gąsienic na dynamikę jazdy. Autor stwierdza jedynie, że proponowane rozwiązanie będzie skuteczne dla obydwu tych przypadków (str. 123). W prezentowanym algorytmie sterowania drganiami nadwozia pojazdu, wymagane jest określenie tłumienia krytycznego, wyznaczonego dla jednomasowego modelu nadwozia. Zależy więc ono od parametrów masowych i sztywności podparcia modelu - sztywności zawieszenia pojazdu. W pojazdach gąsienicowych jakimi są np. czołgi, masa układu zmienia się w zależności od ilości zatankowanego paliwa jak i załadowanego uzbrojenia. Rozkład masy zależy ponadto od pozycji wieżyczki. Sztywność elementów zawieszenia, jak opisuje sam autor na str. 124, wykazuje się nieliniowością. Powyższe czynniki powodują zmianę częstotliwości drgań własnych, a tym samym wartości tłumienia krytycznego w układzie. Powstaje pytanie, jak te czynniki wpłyną na jakość zaproponowanej metody sterowania ruchem drgającym nadwozia,
- zabrakło przedstawienia kryterium, jakim kierował się autor przy wyborze metody sterowania zawieszeniem pojazdu zarówno wielokołowym jak i gąsienicowym,
- niezrozumiałe jest sformułowanie autora "sztywność zawieszenia zapewnia się wzmocnionymi wałkami skrętnymi...", znajdujące się w zdaniu na końcu str. 124,
- nieprawidłowe są zdania, w którym autor napisał " Estymacja prędkości za pomocą tych czujników wymaga <u>różniczkowania</u> przyspieszenia jako wielkości mierzonej." i "... do estymowania prędkości liniowej na podstawie <u>całkowania</u> przemieszczenia liniowego ..." (str. 147),
- recenzent uważa za niewłaściwe pakietowe odwoływanie się do literatury, np. na str. 17,
- niezrozumiała jest skala czasu (milisekundy) na prezentowanych w pracy przebiegach.

W pracy zauważono kilka błędów redakcyjnych, które zostały przekazane do wiadomości autora, np. brak rozdziału 3 w spisie treści.

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, realizację postawionego zadania należy ocenić wysoko ze względu na:

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań,
- rzeczowy sposób prezentacji wyników,
- sumienność wykonania poszczególnych etapów pracy zwłaszcza pod kątem formalnym i matematycznym,
- wykazane przez autora dobre rozeznanie w wielu dziedzinach wiedzy, w tym umiejętności praktyczne przedstawione w rozdziale 5,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków.

4. Ocena końcowa

Oceniając ogólnie przedstawioną rozprawę doktorską należy podkreślić aktualność jej tematyki z punktu widzenia potrzeb konstrukcji i eksploatacji pojazdów gąsienicowych. Zawiera ona elementy, które można uznać za oryginalny wkład w rozwój dyscypliny Mechanika, a zwłaszcza wiedzy w zakresie sterowania zawieszeniem pojazdów gąsienicowych.

Uważam, że opiniowaną pracę Pana mgr inż. Tomasza Machoczka cechuje interdyscyplinarne podejście do zagadnień modelowania układów o złożonej naturze fizycznej, co stanowi stosowny wkład w zakresie analizy i kształtowania cech dynamicznych zawieszeń pojazdów specjalnych. Opracowane algorytmy i programy komputerowe do badań symulacyjnych oraz sposób realizacji tych badań świadczą o odpowiednim przygotowaniu doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowo-badawczej.

Recenzowana praca spełnia wymogi odnośnie przewodu doktorskiego, określone w **Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki**.

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach