

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Jacka Dominika Pisarskiego (promotorstwa
prof. dr hab. inż. Czesława Bajera) pt:
Semi-Active Control System for Trajectory Optimization of a Moving Load on an
Elastic Continuum**

Temat i zawartość rozprawy

Tematem 111-to stronicowej rozprawy doktorskiej jest problem semi-aktywnego sterowania własnościami tłumiącymi podpór belki sprężystej, obciążonej poruszającą się siłą, przy czym celem sterowania jest minimalizacja uśrednionej miary ugięcia pod poruszającym się obiektem. Zagadnienie to wpisuje się w obszar zastosowań tzw. technologii inteligentnych, czyli mechatroniki stosowanej do dużych konstrukcji inżynierskich, w których bezwładność obiektu narzuca konieczność odwołania się do semi-aktywnych metod sterowania (np. modyfikacja w czasie rzeczywistym własności tłumiących) adaptujących obiekt do zmiennego obciążenia. W klasycznych problemach mechatroniki mamy natomiast do czynienia z obiektami o małej inercji, dla których użycie aktywatorów generujących odpowiednio szybko dostatecznie duże siły nie stanowi ograniczenia technicznego.

Motywacją do podjęcia badań stanowiły dla Autora liczne potencjalne zastosowania dla opracowywanych algorytmów sterowania, prowadzące np. do redukcji drgań (a zatem i hałasu) w transporcie szynowym.

Praca podzielona została na 5 rozdziałów:

- Wstęp, zawierający opis literatury z zakresu modelowania i sterowania belek sprężystych obciążonych poruszającym się obciążeniem, motywacje badań oraz sformułowanie zakresu badań własnych
- Rozdział pierwszy, zawierający modele matematyczne badanego w pracy semi-aktywnie sterowanego obiektu składającego się z belki sprężystej podpartej sterowanymi tłumikami
- Rozdział trzeci, zawierający główne twierdzenie autora dotyczące istnienia rozwiązania bazującego na strategii przełączania typu *bang-bang*, prowadzącego do lepszego rozwiązania niż pasywne, maksymalne tłumienie w podporach.
- Rozdział czwarty, zawierający efektywne rozwiązania numeryczne problemu zademonstrowane na przykładzie belki Eulera-Bernulliego z dwoma tłumikami podpierającymi.
- Rozdział piąty, zawierający podsumowanie uzyskanych wyników i opis problemów związanych z planowaną kontynuacją badań.

W aneksach załączone są wyniki dodatkowych testów numerycznych, kod programu w języku Matlab oraz bogata bibliografia.

Główne dokonanie Autora polega na osiągnięciu postawionego sobie celu, polegającego na wykazaniu, że istnieje strategia sterowania przełącznikowa typu *bag-bang*, prowadząca do lepszego rozwiązania (w sensie funkcji celu będącej uśrednioną miarą ugięć belki pod poruszającą się siłą) niż rozwiązanie pasywne, związane ze stałym, maksymalnym tłumieniem we wszystkich podporach.

W szczególności, sprowadzone to zostało do:

- sformułowania i udowodnienia twierdzenia 3.4 prowadzącego do warunków dostatecznych istnienia poszukiwanego rozwiązania typu *bang-bang*
- opracowania dwóch algorytmów numerycznych dla wyznaczania optymalnej strategii przełącznikowej (rozdz. 3)
- zademonstrowania skuteczności proponowanego podejścia na przykładzie numerycznym belki z dwoma tłumikami podpierającymi (rozdz. 4).

Zaprezentowane rozwiązanie problemu stanowi wynik oryginalny i konstruktywny, pozwalający na efektywne wyznaczanie strategii bliskich optymalnym.

Ponadto, Autor wykazał (rozdz. 4) wpływ liczby zastosowanych tłumików, ich rozlokowania, prędkości przejazdu oraz wstępnego ugięcia toru na wynik rozwiązywanego problemu.

Komentarze i uwagi polemiczne

Wysoko oceniam przedstawione w rozprawie podejście bazujące na strategii przełącznikowej. W załączniku podaję propozycję alternatywnego algorytmu wyznaczania czasów przełączeń.

Poniższe uwagi i komentarze dotyczą aplikacyjnej strony zagadnienia i nie umniejszają mojej pozytywnej oceny uzyskanego wyniku w zakresie teorii sterowania konstrukcji.

Jeśli stabilizacja ruchu przejeżdżającego pojazdu ma się odbywać poprzez sterowanie własnościami dodatkowych podpór, to należałoby rozważyć jako istotną alternatywę sterowanie sztywnością tych podpór lub wręcz ich ugięciami, co powinno być bardziej efektywne dla wybranej funkcji celu, niż sterowanie tłumieniem.

Wprowadzenie dodatkowych podpór zewnętrznych stanowi oczywisty problem techniczny. Można sformułować analogiczny do rozważonego w pracy problem sterowania dodatkowym tłumieniem, ale wewnętrznym. Wymagałoby to wprowadzenia do belki przegubów sterowalnych o cechach sztywno-lepkich, choć potencjalna skuteczność takiego zabiegu nie wydaje się być bardziej efektywna niż rozważane tłumienie zewnętrzne,

Analizowany w pracy wpływ ugięcia początkowego na wynik sterowania (rozdz. 4.6) potraktowany został zbyt marginalnie. Jeśli przyjąć w analizowanym przykładzie wstępne ugięcie belki tożsame z czerwoną linią ugięcia z Rys. 4.1 (uzyskaną dla maksymalnego, pasywnego tłumienia w obu podporach), lecz ze znakiem przeciwnym, to wypadkowy przejazd siły (identyczny do tego z rozdz. 4.2.1) powinien odbywać się w warunkach jak dla idealnie płaskiego, nie zdeformowanego toru. Oczywiście, przy założeniu małych przemieszczeń. Wynik ten pozostaje w mocy także dla przejazdu bez żadnych dodatkowych tłumików.

Analizowana w rozdz. 4.7 koncepcja podwójnej belki jest zbieżna z ideą „*smart sleeper*” prezentowaną w pracy cytowanej w rozprawie jako pozycja [P.Flont 1997]. Pozycja ta stanowi raport cząstkowy europejskiego projektu badawczego Copernicus 263 (Feasibility Study on Active Track Support, 1995-1998). Adaptacyjne podkłady kolejowe o sterowalnej wysokości montowane są na przęsle mostowym, które ugina się w trakcie przejazdu pociągu. Celem zabiegu, podobnie, jak w recenzowanej rozprawie, jest minimalizacja uśrednionych ugięć toru pod przejeżdżającym taborem tak, aby maksymalnie zredukować jego drgania pionowe w trakcie przejazdu. Podkłady wyposażone są w poduszki hydrauliczne, których stan oczekiwania jest w pozycji uniesionej (sprężyny powrotne) oraz w zawór sterujący wypływem oleju do zbiornika rezerwowego w trakcie obciążenia podkładu przejeżdżającą lokomotywą i wagonami. Prototyp takiego podkładu został wykonany i przetestowany laboratoryjnie w ramach projektu COP263. Strategia sterowania polega w tym przypadku na wstępnym uniesieniu toru oraz precyzyjnym otwieraniu zaworu tak, aby wypadkowe ugięcie toru było najbliższe optymalnemu. W przypadku przejazdu pojedynczej, stałej siły ze stałą prędkością możemy uzyskać efekt idealnie gładkiego przejazdu. Oczywiście, problem ulega istotnej komplikacji w realistycznym przypadku przejazdu pociągu określonej długości, z rozłożonymi masami i podatnymi podwoziami, a w szczególności, w przypadku dwóch mijających się na moście pociągów.

Praca została starannie przygotowana od strony edytorskiej, choć drobne uchybienia redakcyjne zaznaczone zostały w tekście. Pewien dyskomfort wywołuje u mnie nazywanie funkcji celu jako „*cost function*” (np. Rys. 4.4) w przypadku, gdy jest ona zdefiniowana jako uśredniona miara ugięcia ustroju. Może „*objective function*” brzmiałoby lepiej? Kosztem w analizowanym zadaniu nazwałbym raczej liczbę tłumików i ich przełączeń.

Wniosek końcowy

Wnioski wyciągnięte z analizy przedłożonej rozprawy jednoznacznie upoważniają mnie do stwierdzenia, że w świetle obowiązującej Ustawy o stopniach i tytułach naukowych stanowi ona podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia Doktora Nauk Technicznych. Stawiam wniosek do Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki o dopuszczenie mgr.inż. Dominika Pisarskiego do obrony publicznej.

Warszawa, 28 sierpnia 2011 r.



Jan Holnicki-Szulc