

Warszawa, 15 października 2011 roku

Prof. nzw. dr hab. inż. Andrzej Myśliński
Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

RECENZJA

rozprawy doktorskiej magistra inż. Dominika Pisarskiego
pt. " Semi-Active Control System for a Trajectory Optimization of a Moving Load on an Elastic Continuum "

wykonana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN

1. Cel i teza rozprawy

Recenzowana rozprawa poświęcona jest analizie oraz numerycznemu rozwiązaniu zadań sterowania optymalnego dla zagadnień hiperbolicznych opisujących półaktywnie tłumione drgania poprzeczne wybranych jednowymiarowych układów sprężystych. Rozważanymi modelowymi układami sprężystymi są: belka Eulera-Bernoulliego oraz struna. Przemieszczenia poprzeczne belki albo struny są zmiennymi stanu. Każdy z tych układów jest pobudzony do drgań stałą pionową siłą skupioną przesuwaną się ze stałą prędkością. Tłumienie drgań jest realizowane poprzez skończoną liczbę tłumików wiskotycznych podpierających belkę lub strunę. Współczynnik tłumienia wiskotycznego każdego z tych tłumików jest funkcją czasu i został wybrany jako funkcja sterująca. Funkcja ta jest współczynnikiem w równaniu stanu układu sprężystego. Celem zadania sterowania optymalnego jest wyznaczenie takiego sterowania kawałkami stałego aby minimalizować funkcjonal jakości zadania równy kwadratowi normy L^2 przemieszczenia poprzecznego belki. Optymalne półaktywne sterowanie tłumikami drgań belki ma zapewnić, że siła obciążająca belkę porusza się po torze zbliżonym jak najbardziej do linii prostej.

Rozważane w rozprawie zagadnienie półaktywnego tłumienia drgań ma duże znaczenie praktyczne. Układy półaktywnej regulacji drgań są stosowane w konstrukcjach budowlanych, wieżach, masztach czy zawieszonych pojazdach. Obszarem ich zastosowań jest także robotyka czy pojazdy kolejowe poruszające się z dużymi prędkościami. W ostatnim okresie gdy projektuje się coraz lżejsze konstrukcje problem efektywnego tłumienia niepożądanych drgań staje się coraz bardziej istotny.

Cele rozprawy Autor sformułował na stronie 3. Obejmują one „*zapropozowanie bezpiecznej i efektywnej metody sterowania półaktywnym tłumieniem drgań wzbudzonych przez siłę skupioną przesuwaną się prostoliniowo wzdłuż jednowymiarowego ośrodka sprężystego, zapropozowanie metody numerycznej wyznaczającej takie sterowanie oraz analizę uzyskanych numerycznie rozwiązań optymalnych i propozycje ich inżynierskiej realizacji*”. Autor formułuje na stronie 10 w trzech punktach tezę rozprawy, którą uzasadnia w dalszej jej części. Stwierdza ona, że dla badanego zagadnienia drgań jednowymiarowego ośrodka sprężystego, którego modelowym reprezentantem jest belka Eulera-Bernoulliego, wywołanych przesuwaną się stałą siłą skupioną:

- 1) „*dla znacznego zakresu parametrów systemu istnieje tłumienie półaktywne wyznaczone jako rozwiązanie zadania sterowania optymalnego znacznie skuteczniejsze niż tłumienie pasywne. W szczególności Autor sformułował w Twierdzeniu* 3.4 na stronie 42 warunki wystarczające istnienia sekwencji przełączeń realizujących takie sterowanie optymalne,*
- 2) *jakość realizowanego tłumienia półaktywnego jest zależna od liczby tłumików; w szczególności odpowiednio gęsty rozkład tłumików zapewnia minimalne przemieszczenia poprzeczne belki pod wpływem przesuwaną się siły,*
- 3) *najwyższa efektywność i regularność zaproponowanej przez Autora metody wyznaczania czasów przełączeń celem uzyskania optymalnego półaktywnego tłumienia drgań występuje dla dużych prędkości przesuwaną się siły obciążenia bliskim prędkości krytycznej”.*

Sformułowany w powyższy sposób cel oraz teza rozprawy wskazują, że przedmiotem rozprawy jest złożony problem techniczny i obliczeniowy z zakresu teorii drgań oraz teorii sterowania optymalnego zagadnień o parametrach rozłożonych. Autor stawia sobie za cel opracowanie i wdrożenie metod obliczeniowych wspomagających proces sterowania tłumieniem drgań i zwiększających efektywność tego tłumienia w stosunku do pasywnych metod tłumienia drgań.

2. Zawartość rozprawy

Tekst 111 stronicowej pracy napisanej w języku angielskim został podzielony na 5 rozdziałów, 2 dodatki oraz spis literatury. Cel oraz teza rozprawy, jej zawartość i najważniejsze pozycje z literatury przedmiotu omówiono w rozdziale 1. W szczególności na str. 4 Autor wymienił problemy nie będące przedmiotem rozprawy. Należy do nich, między innymi, badanie stabilności układu półaktywnego tłumienia drgań.

W rozdziale 2 sformułowano jednowymiarowe równania stanu belki Eulera-Bernoulliego oraz struny połączonych w skończonej liczbie punktów z wiskotycznymi tłumikami drgań. Zarówno belka jak i struna są obciążone stałą siłą skupioną przesuwaną się ze stałą prędkością. Poprzeczne przemieszczenia belki i struny są zmiennymi stanu. Założono, że współczynniki tłumienia charakteryzujące tłumiki wiskotyczne są funkcją czasu zaś siły reakcji w punktach połączenia tłumików są wprost proporcjonalne do prędkości przemieszczenia obiektu. Współczynniki tłumienia przyjęto jako zmienne sterujące. Wykorzystując metodę rozwinięcia w szereg Fouriera (metodę separacji zmiennych) oraz ortogonalność funkcji trygonometrycznych zależnych tylko od zmiennej przestrzennej i własności funkcji Diraca oryginalne równania różniczkowe o parametrach rozłożonych opisujące stan obiektów zastąpiono układem równań różniczkowych zwyczajnych drugiego rzędu gdzie niewiadomymi funkcjami są tylko funkcje zależne od czasu występujące w rozwinięciu w szereg Fouriera. Następnie równania te rozwiązano numerycznie metodą Runge-Kutta czwartego rzędu badając jaka liczba członów w rozwinięciu w szereg Fouriera zapewnia kompromis pomiędzy dokładnością rozwiązania a kosztem obliczeń. Liczbę tę oszacowano na 10 i wykorzystano w dalszej części pracy. W rozdziale 2 sformułowano ponadto model dwóch belek Eulera-Bernoulliego sprzężonych poprzez wiskotyczne tłumiki oraz model belki Eulera-Bernoulliego z zadaniem początkowym przemieszczeniem. W sekcji 2.6, jako alternatywną metodę rozwiązywania równań różniczkowych zwyczajnych zaprezentowano metodę rozwinięcia w szereg potęgowy. Metodę tę zastosowano do rozwiązania numerycznego układu równań różniczkowych zwyczajnych opisujących strunę. Stwierdzono, że im większa jest liczba składników w rozwinięciu w szereg potęgowy tym metoda ta, w porównaniu do metody elementu skończonego, daje dokładniejsze wyniki.

W rozdziale 3 podano warunki istnienia rozwiązań układu równań różniczkowych zwyczajnych opisujących stan układu oraz zadania sterowania optymalnego z funkcjonałem jakości zdefiniowanym w ograniczonym horyzoncie czasowym. Sformułowano warunki konieczne optymalności dla rozważanej klasy zadań sterowania optymalnego wykorzystując w tym celu Zasadę Maksimum Pontriagina. Warunek wystarczający optymalności podano w postaci Twierdzenia 3.4 na stronie 42 rozprawy. Stanowi ono oryginalny dorobek Autora. Celem rozwiązania numerycznego zadania sterowania optymalnego Autor zaproponował i sformułował w rozprawie dwa algorytmy: algorytm największego spadku (nazwany w rozprawie gradientowym) wykorzystujący pochodną funkcjonału jakości oraz algorytm wyznaczania czasów przełączeń (ang. switching time method). Algorytm gradientowy przetestowano rozwiązując zadanie optymalizacji oscylatora opisanego układem trzech równań różniczkowych zwyczajnych ze zmiennym współczynnikiem tłumienia i badając liczbę punktów przełączeń dla dwóch różnych czasów końcowych. Następnie to samo zadanie sterowania rozwiązano stosując drugi z proponowanych algorytmów. Przedyskutowano uzyskane wyniki numeryczne dla dwóch różnych czasów końcowych w funkcji różnych początkowych macierzy czasów przełączeń. Wyciągnięto wniosek, że przy odpowiednio dobranych początkowych macierzach czasów przełączeń algorytm wyznaczania czasów przełączeń jest ponad pięć razy szybszy od algorytmu gradientowego.

Rozdział 4 zawiera najistotniejsze wyniki osiągnięte przez Autora. Zaprezentowano w nim i przedyskutowano wyniki numeryczne będące podstawą sformułowania tezy rozprawy. Autor rozwiązał zadanie sterowania optymalnego dla belki Eulera-Bernoulliego z półaktywnym układem tłumienia drgań. Jako funkcjonal jakości przyjęto kwadrat normy L^2 przemieszczenia poprzecznego belki. Do rozwiązania wykorzystano algorytmy opisane w rozdziałach 2 i 3 rozprawy. Na stronach od 60 do 74 podano uzyskane rozwiązania równań stanu, równań sprzężonych i sterowania optymalne. Na stronie 67, w Tabeli 4.1, sformułowano kluczowy wniosek rozprawy. Zarówno algorytm gradientowy jak i algorytm wyznaczania czasów przełączeń pozwalają wyznaczyć takie sterowania optymalne, że w badanym zagadnieniu efektywność półaktywnego tłumienia drgań mierzona wartością funkcjonału jakości jest ok. 2,5 raza wyższa niż tłumienia pasywnego. W dalszej części rozdziału, wykorzystując tylko bardziej efektywny algorytm wyznaczania czasów przełączeń, uzyskane sterowania optymalne badano w funkcji liczby i położenia tłumików wiskotycznych oraz prędkości siły obciążającej. Stosowne wnioski sformułowano na stronach od 67 do 74. Następnie w sekcji 4.6 (str. 74–78) zamieszczono rozwiązanie numeryczne zadania sterowania optymalnego dla sformułowanego w sekcji 2.5.2 modelu belki Eulera-Bernoulliego z zadanym początkowym przemieszczeniem. Zakładając, że drgania tłumione są przez pięć tłumików wiskotycznych, obliczenia przeprowadzono dla dwóch różnych krzywych opisujących początkowe przemieszczenie belki oraz dla różnych prędkości przesuwania się siły obciążającej. Uzyskane sterowania optymalne zapewniają od dwóch i pół do pięciu razy wyższą efektywność, mierzoną wartością funkcjonału jakości, półaktywnego tłumienia drgań w stosunku do pasywnego tłumienia. W sekcji 4.7 (str. 78–85) zamieszczono rozwiązanie numeryczne zadania sterowania optymalnego dla sformułowanego w sekcji 2.5.1 modelu dwóch belek Eulera-Bernoulliego sprzężonych poprzez wiskotyczne tłumiki. Układ równań stanu rozwiązano wykorzystując metodę rozwinięcia w szereg potęgowy. Jako algorytm optymalizacji wykorzystano metodę Hooke–Jeeves'a. Zadanie sterowania optymalnego rozwiązano dla trzech różnych wartości sztywności zginania górnej belki oraz prędkości przemieszczania się siły obciążenia oraz dla trzech, czterech lub pięciu tłumików. Ponownie sformułowano wniosek w Tabelach 4.7–4.9 na str. 80–81, że uzyskane sterowania optymalne zapewniają wyższą efektywność półaktywnego tłumienia drgań w stosunku do pasywnego tłumienia. Efektywność ta jest tym wyższa im większa jest liczba tłumików, wyższa prędkość przemieszczania się siły obciążenia oraz niższa sztywność zginania górnej belki.

Rozdział 5 zawiera krótkie streszczenie pracy i osiągniętych rezultatów. Sekcja 5.1 zawiera interesującą propozycję Autora, wysnutą na podstawie wyników numerycznych z rozdziału 4, dotyczącą praktycznej realizacji półaktywnego tłumienia drgań. Autor proponuje aby tłumiki wiskotyczne zastąpić inteligentną ciągłą warstwą tłumiącą umieszczoną na górnej powierzchni ciała po którym przesuwa się siła obciążająca. Spis kierunków dalszych badań kończy rozdział 5.

Dodatek A (str. 91–95) zawiera uzyskane przebiegi sterowań optymalnych w zależności od liczby tłumików wiskotycznych (uzupełnienie wyników z sekcji 4.3) albo w zależności od prędkości przemieszczania się siły obciążającej przy założeniu siedmiu tłumików wiskotycznych (uzupełnienie wyników numerycznych z sekcji 4.5). Dodatek B (str. 97–104) zawiera program napisany w środowisku MATLAB realizujący algorytm wyznaczania punktów przełączających.

Pracę zamyka spis literatury obejmujący 76 pozycji, w tym podstawowe monografie i artykuły w recenzowanych czasopismach międzynarodowych z zakresu równań różniczkowych cząstkowych i zwyczajnych, teorii optymalizacji i sterowania, teorii układów sprężystych, zagadnień półaktywnego sterowania tłumieniem drgań wywołanych przesuwanym się obiektem. Należy zaznaczyć, że cytowana literatura przedmiotu rozprawy zawiera sześć prac zespołowych z udziałem Autora. Dwa z tych artykułów opublikowano w recenzowanych czasopismach międzynarodowych a trzy w recenzowanych czasopismach krajowych. Szóstą pracę zaprezentowano na międzynarodowej konferencji w Warszawie w 2011 roku.

3. Ocena merytoryczna

Recenzowana rozprawa wykorzystując elementy teorii drgań, teorii sterowania optymalnego, metod numerycznego rozwiązywania równań różniczkowych zwyczajnych oraz zadań optymalizacji łączy w sobie dwa uzupełniające się nurty: analizę teoretyczną rozważanych zadań sterowania oraz obliczenia numeryczne. Wykorzystując znane z literatury twierdzenia, w rozdziale 3, Autor dowodzi istnienia rozwiązań optymalnych dla badanych zadań sterowania oraz formułuje dla nich warunki konieczne optymalności wykorzystane następnie w algorytmach numerycznych. W rozdziale 4 Autor przedstawia uzyskane najistotniejsze wyniki numeryczne uzasadniające tezę rozprawy, w tym istnienie sterowań optymalnych dla badanych zadań tłumienia drgań. Wyniki numeryczne, zawarte również w rozdziałach 2 i 3 oraz w Dodatku A, wskazują, że rozprawa ma w przeważającej części charakter numeryczny.

Rozprawa zawiera krytyczny przegląd wiedzy z teorii jednowymiarowych układów sprężystych, teorii drgań oraz ich tłumienia, teorii równań różniczkowych cząstkowych i zwyczajnych, teorii optymalizacji i sterowania optymalnego. Przegląd ten świadczy o dostatecznej wiedzy teoretycznej Autora z tego zakresu. Znacznie słabiej reprezentowane są pozycje literatury z zakresu metod matematycznych teorii sterowania optymalnego dla układów o parametrach rozłożonych w tym zawierające najnowsze wyniki z ostatnich kilku lat na przykład monografia I. Lasięckiej i R. Triggianiego lub prace A. Ioffe i V. Tichomirowa czy E. Zuazua. Szkoda, że w rozdziale 3 praca nie zawiera bardziej szczegółowego przeglądu literatury dotyczącego zadań sterowania optymalnego i metod ich numerycznego rozwiązywania. Śledzenie cytowanych pozycji literatury utrudnia niefortunny moim zdaniem sposób ich cytowania. Autor przyjął formułę cytowania podającą autora pracy i rok jej ukazania się. W przypadku dwóch lub więcej autorów cytowanej pracy Doktorant identyfikuje tę pracę poprzez podanie nie pierwszego ale kolejnego autora. Powoduje to, że oznaczenia cytowanych prac na str. 105–111 są raczej w kolejności losowej niż alfabetycznej. Prawdopodobnie Doktorant sam miał kłopoty z oznaczaniem cytowanych prac na co wskazuje cytowanie tej samej pracy pod różnymi odnośnikami [*Abu-Hilal, 2006*] na str. 105 oraz [*Hilal, 2006*] na str. 108.

Rozprawa stanowi oryginalne zastosowanie znanych z literatury modeli jednowymiarowych układów sprężystych oraz metod obliczeniowych dla równań różniczkowych zwyczajnych i metod optymalizacji do rozwiązania zadania sterowania optymalnego półaktywnego tłumienia drgań. Autor udowodnił w sposób numeryczny, że dla rozważanych układów sprężystych półaktywne tłumienie drgań jest znacznie skuteczniejsze niż pasywne tłumienie drgań. Realizacja rozprawy wymagała od Autora dużego wysiłku programistycznego. Wszystkie algorytmy zostały wdrożone a obliczenia wykonane w środowisku programistycznym MATLAB. Oryginalne osiągnięcia Autora prezentowane w rozprawie obejmują:

- sformułowanie w postaci Twierdzenia 3.4 warunku wystarczającego optymalności wykorzystanego w algorytmie wyznaczania czasów przełączeń (str. 42-43),
- opracowanie, wdrożenie i przetestowanie dwóch algorytmów do numerycznego rozwiązywania układu równań różniczkowych zwyczajnych opisujących jednowymiarową belkę sprężystą, strunę sprężystą lub dwie sprzężone belki wprawione w ruch drgający (str. 19-31),
- opracowanie, wdrożenie i przetestowanie dwóch algorytmów do numerycznego rozwiązywania zadań sterowania optymalnego (str. 43-55),
- rozwiązanie trzech zadań sterowania optymalnego i wyznaczenie sterowań optymalnych zapewniających efektywniejsze tłumienie drgań w porównaniu do ich pasywnego tłumienia oraz zbadanie wrażliwości wyznaczonych sterowań optymalnych i efektywności tłumienia na zmianę podstawowych parametrów układu sprężystego (str. 59-85).

Krytyczne podejście Doktoranta do tematu pozwoliło mu na sformułowanie zagadnienia badawczego we właściwy sposób. Doktorant wykorzystał nowoczesne narzędzia modelowania komputerowego i analizy oraz uzyskał oryginalne rozwiązania numeryczne potwierdzające wyższą efektywność półaktywnego tłumienia drgań badanych układów w porównaniu z tłumieniem pasywnym. Wykonane prace i uzyskany

wynik numeryczny pozwoliły Doktorantowi na udokumentowanie słuszności poczynionych założeń oraz udaną realizację założonych praktycznych celów rozprawy i tym samym potwierdzenie zdefiniowanej tezy rozprawy. Przedstawiona rozprawa posiada również walory aplikacyjne. Algorytmy w niej wykorzystane mogą być wykorzystane do badania lub konstruowania systemów półaktywnego tłumienia drgań złożonych obiektów inżynierskich takich jak budynki czy pojazdy kolejowe.

4. Ocena redakcyjna i językowa rozprawy

Rozprawa przygotowana jest dość starannie. Układ jej treści jest prawidłowy i wyraźnie podporządkowany uzasadnieniu tezy rozprawy. Szata graficzna rozprawy jest przejrzysta. Tabele i rysunki prezentowane w rozprawie są czytelne i starannie opracowane. Należy zaznaczyć, że większość wykresów i tabel wykorzystuje różne kolory co tym bardziej ułatwia czytelnikowi ich analizowanie. Rozprawa jest napisana w języku angielskim.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Recenzowana praca obok wymienionych zalet ma również pewne słabe strony. Należą do nich przede wszystkim nieścisłości w uzasadnieniu analitycznym istnienia rozwiązań obejmujące:

- 1) Str. 36, wiersze 8–11 od dołu – Autor wskazuje na twierdzenie *Carathéodory* dotyczące istnienia rozwiązań równań różniczkowych zwyczajnych (3.4). Niestety, Autor nie formułuje dokładnie ani założeń tego twierdzenia ani jego tezy. Czy istnienie rozwiązania nie jest ograniczone do otoczenia punktu y_0 ? Czy założenie o ciągłości pochodnej funkcji f względem y i u jest wykorzystywane w tym twierdzeniu? Proponuję aby Autor dokładnie przytoczył ze wskazanych pozycji literatury przedmiotowe twierdzenie.
- 2) Str. 38–39, sekcja 3.3 – podane twierdzenia dotyczące istnienia rozwiązań optymalnych wymagają co najmniej komentarza ze strony Autora.
 - a) Dlaczego Autor nie korzysta wprost z twierdzenia Weierstrassa aby uzasadnić istnienie rozwiązania zadania (3.12)?
 - b) Czy ograniczenie (3.14) nie powinno wynikać z własności rozwiązań zagadnienia (3.4)? Czy T w (3.14) jest ograniczone?
 - c) Jakie znaczenie ma wypukłość zbioru $f(y, \Omega)$ w Twierdzeniu 3.1? Dlaczego warunku wypukłości nie ma w Twierdzeniu 3.2?
 - d) Akapit zaczynający się od słów „*In some special cases the strong convexity ...*” a kończący słowami „*... can be formulated*” jest kompletnie niezrozumiały. Ani w Twierdzeniu 3.1 ani w Twierdzeniu 3.2 nie ma założenia o ścisłej wypukłości zbioru $f(y, \Omega)$? Zbiór sterowań dopuszczalnych $\Omega \subset \mathbb{R}^m$ zdefiniowany jak w (3.12) jest skończeniowym, domkniętym i ograniczonym zatem zwartym. W przestrzeni skończeniowym wszystkie topologie są równoważne. Czy zbiór Ω jest podzbiorem przestrzeni funkcyjnej L^1 ? Z czego może wynikać zwartość tego zbioru sterowań dopuszczalnych w przestrzeni L^1 ? Czy Twierdzenie 3.2 też odnosi się do zadania (3.12)?

Drugą grupę zauważonych nieścisłości stanowi brak definicji wprowadzanych symboli lub komentarzy ułatwiających lekturę tekstu:

- 1) Str. 11 – brak zbiorczego zestawienia używanych symboli utrudnia zrozumienie pewnych akapitów tekstu.
- 2) Str. 15, sformułowanie zadania (2.1) – „*under all formulated assumptions*” założenia należało zebrać i wypunktować w jednym miejscu; symbole pierwszej i drugiej pochodnej nie zostały formalnie zdefiniowane. Czy warunek na drugie pochodne ma interpretację mechaniczną?
- 3) Str. 19, równania (2.13), (2.14), Str. 26, równanie (2.22) – nie podano warunków początkowych? Czy te równania są równoważne, odpowiednio, (2.3)-(2.4) oraz (2.17)?
- 4) Str. 19–23, sekcja 2.4 – nie podano jednostek fizycznych stałych użytych w obliczeniach; czy wykorzystywane tu są wielkości bezwymiarowe? Jaka jest wartość długości przedziału czasu l/v -

nie jest to nigdzie podane? Nie omówiono różnic pomiędzy Rys. (2.3)-(2.5). Wartości N na Rys 2.3 i 2.4 są różne. Czy w rozdziale 4 wykorzystano $N=10$?

- 5) Str. 27, równanie (2.26) – należy wskazać, że jest to powtórzone równanie (2.14).
- 6) Str. 31, formuła (2.37) – symbol „ \tilde{n} ” nie został zdefiniowany.
- 7) Str. 39, wzór (3.17) – czy p jest zmienną sprzężoną?
- 8) Str. 41, wiersz 1 od góry – “*the implicit form for controls (4.5) ...*”. (4.5) na stronie 59 niczym nie różni się od (3.25) na str. 40. Czy nie lepiej odwołać się do (3.25)?
- 9) Str. 42, wiersze 6-10 od góry – wszystkie użyte symbole powinny być zdefiniowane.
- 10) Str. 43, wzory (3.40), (3.41) – podane zależności są intuicyjnie zrozumiałe ale formalnie chyba nieprawidłowo zdefiniowane. Czy (3.41) definiuje pochodną kierunkową funkcjonału J ? Czy Γ jest podzbiorem R^m ? Czy symbol δ jest używany na oznaczenie pierwszej wariacji funkcjonału J czy jego pierwszej pochodnej?
- 11) Jaką metodą są rozwiązywane równania stanu w (3.42)? Przez k na str. 44 oznaczono zarówno współczynnik równania ($k=1$) jak i liczbę iteracji algorytmu na następnej stronie ($k=500$).
- 12) Str. 46, Rys 3.2 – dlaczego $y_1(t)=1$ lub niewiele różni się od $y_1(0)$? Zmienna ta nie zależy od sterowania u ? Brak omówienia uzyskanych wyników. Podobna uwaga dotyczy sekcji 3.7.2.
- 13) Str. 49, wzór (3.49) – dlaczego $y_n(t)=t$ w wierszu poniżej?
- 14) Str. 50, wzór (3.58) – czy użyte tu pojęcie „*total derivative*” jest tożsame pojęciu „*functional derivative*” zdefiniowanemu w (3.41)?
- 15) Str. 51, „**Step 1**” – w jaki sposób są szacowane początkowe macierze czasów przełączeń? Ani tutaj ani dalej Autor o tym istotnym szczególe nie pisze? „**Step 4**” – chodzi o (3.67) czy raczej o (3.64)?
- 16) Str. 54 – Rys. 3.12 i 3.2-3.3 wydają się być identyczne. Dlaczego tego nie omówiono?
- 17) Str. 58, formuła (4.1) – jakie jest uzasadnienie inżynierskie/mechaniczne wyboru funkcjonału (4.1) jako funkcjonału celu w zadaniu (4.3)? Jaka jest interpretacja mechaniczna zadania (4.3)?
- 18) Str. 59, Sekcja 4.2 – jaką metodę wykorzystano do rozwiązania równania stanu w (4.3)?
- 19) Str. 62, wzór (4.7) – czy podane macierze wynikają z inżynierskiego doświadczenia czy są arbitralnie przyjęte?
- 20) Str. 85, Podsumowanie rozdziału 4 – czy Autor zastanawiał się nad mechaniczną interpretacją uzyskanych rozwiązań optymalnych i możliwością ich technicznej realizacji?
- 21) Str. 88 – czy Autor zastanawiał się jak idea inteligentnej warstwy tłumiącej może być praktycznie zaimplementowana?

6. Uwagi redakcyjne i językowe

Pewne mankamenty, oprócz wskazanych powyżej, występują również w redakcji rozprawy. Każdy rozdział rozprawy jest poprzedzony spisem treści i krótkim omówieniem jego zawartości zaś kończy się podsumowaniem. O ile omówienie zawartości rozdziału na jego początku jest pomocne i wskazane o tyle powtarzanie tego streszczenia na końcu bez istotnych wniosków wydaje mi się zbędne. Widać to szczególnie w podsumowaniu rozdziału 4, w którym podano tylko bardzo ogólnikowe wnioski w przeciwieństwie do jego zawartości gdzie każda sekcja kończy się zestawem wniosków i spostrzeżeń Autora.

Język angielski pracy jest zadowalający. W tekście rozprawy zauważyłem wiele błędów literowych. Wydaje mi się, że stylistyka niektórych zdań mogłaby lepiej odzwierciedlać gramatykę języka angielskiego. Ponieważ rozprawa jest napisana w języku angielskim również program zamieszczony w Dodatku B powinien zawierać opis zmiennych lub komentarze w języku angielskim. Niektóre sformułowania Autora wydają mi się niejasne. Należą do nich, między innymi,

- 1) Str. 27, wiersz 12 od dołu – co oznacza skrót „*pow*”?
- 2) Str. 27, wiersz 10 od dołu – „*arbitrary time interval*” ? również nieskończony?
- 3) Str. 29, wiersz 9 od dołu – „*commonly known*” ? należało podać literaturę.
- 4) Str. 35, wiersz 13 od dołu – jak Autor rozumie zdanie „*optimal control is the standard method for solving dynamic optimization problems*”?

7. Podsumowanie

Powyższe uwagi krytyczne nie mają zasadniczego wpływu na pozytywną opinię o rozprawie. Autor poprawnie sformułował, samodzielnie i w oryginalny sposób rozwiązał nietrywialny problem badawczy z zakresu półaktywnego sterowania tłumienia drgań jednowymiarowych układów sprężystych mający duże znaczenie praktyczne. Wykazał się dobrą znajomością podstaw mechaniki i teorii sterowania oraz nowoczesnych technik obliczeniowych. Jest sprawnym programistą i wykazuje cechy predysponujące go do pracy naukowej.

Uważam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez przepisy określone w art. 13 ust. 1, ust. 2, ust. 5-6 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku z późn. zm. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnioskuje o dopuszczenie Pana Dominika Pisarskiego do jej publicznej obrony.

A. Myszkowski