

prof. dr hab. Stanisław Migórski
Uniwersytet Jagielloński, Wydział Matematyki i Informatyki
ul. Stanisława Łojasiewicza 6, 30-348 Kraków

Kraków, 15 stycznia 2024r.

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym doktor Anny Michalak
dla Uniwersytetu Łódzkiego

* * *

Dr Anna Michalak urodziła się w 1979 roku. Studia wyższe na kierunku matematyka ukończyła na Uniwersytecie Łódzkim w 2004 roku. Stopień doktora nauk matematycznych w zakresie matematyki uzyskała w 2010 roku na podstawie rozprawy pt. “Dualne podejście do problemu stabilności typu Lapunowa”.

Dr Anna Michalak pracuje na stanowisku adiunkta od 2011 roku w Katedrze Ekonometrii na Wydziale Ekonomiczno-Socjologicznym Uniwersytetu Łódzkiego.

Dr Anna Michalak przedstawia cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych i opatrzonych tytułem “Nowe metody badania stabilności rozwiązań równań różniczkowych”. Cykl artykułów składa się z pięciu następujących prac opublikowanych w latach 2017–2023:

[A1] A. Michalak, A. Nowakowski, Finite-time stability and finite-time synchronization of neural network - Dual approach, *Journal of the Franklin Institute* **354** (2017), 8513–8528,

[A2] A. Michalak, A. Nowakowski, Fixed-time stability of ODE and fixed-time stability of neural network, *International Journal of Control* **94** (2021), 3332–3338,

[A3] A. Michalak, A. Nowakowski, Dual Lyapunov approach to finite time stability for parabolic PDE, *Dynamics of Partial Differential Equations* **19** (2022), 177–189,

[A4] A. Michalak, A. Nowakowski, New approach to fixed-time stability of a nonlinear system, *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems* **48** (2023), 101337,

[A5] A. Michalak, Finite-time and fixed-time stability analysis for time-varying system: A dual approach, *Journal of the Franklin Institute* **359** (2022), 10676–10687.

Spśród pięciu prac wchodzących w skład cyklu prac, jedna jest samodzielna, a cztery są współautorskie z A. Nowakowskim. Według bazy Web of Science Core Collection, dr

Anna Michalak jest autorką (współautorką) łącznie 18 publikacji (w tym trzy przed doktoratem), cytowanych 34 razy w 30 artykułach, H-indeks wynosi 4. Cytowania pięciu publikacji wchodzących w skład cyklu wynoszą odpowiednio: [A1] 12 cytowań (w tym 3 autocytowania), [A2] 3 cytowania (w tym 1 autocytowanie), [A3] 0 cytowań, [A4] 0 cytowań, [A5] 1 cytowanie. W bazie czasopism *Mathematical Reviews* odnotowano 14 jej publikacji cytowanych 12 razy w 11 publikacjach. Tematyka prac dr Michalak obejmuje:

- warunki wystarczające optymalności w zadaniach programowania nieliniowego,
- stabilność rozwiązań nieliniowych równań różniczkowych,
- zastosowania do badania stabilności sztucznych sieci neuronowych.

Przedstawiony cykl publikacji dotyczy dwóch ostatnich zagadnień. Dr Michalak w swoim autoreferacie wyraźnie wyróżnia, która część rezultatów naukowych jest jej indywidualnym wkładem. Publikacje [A2]-[A5] ukazały się w ciągu ostatnich dwóch lat, zostały opublikowane w dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Wszystkie pięć publikacji stanowią cykl monotematyczny poświęcony wybranym zagadnieniom z teorii równań różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych, zastosowaniom w optymalizacji i teorii sterowania optymalnego, analizie stabilności i sterowalności.

Publikacja [A1] poświęcona jest zagadnieniu stabilności w skończonym czasie i synchronizacji w skończonym czasie nieliniowych sieci neuronowych. Wykorzystuje się tutaj podejście dualne. Jego zaletą jest to, że zdefiniowana podwójna funkcja Lapunowa wydaje się łatwiejsza w użyciu i okazuje się bardziej regularna, chociaż dane równania różniczkowego są mniej regularne.

Praca [A2] dotyczy zagadnienia stabilności w skończonym czasie rozwiązania nieautonomicznego równania różniczkowego zwyczajnego w przestrzeni skończonej wymiarowej. Analiza stabilności w skończonym czasie jest ważną częścią badań w zakresie stabilności i asymptotycznej stabilności rozwiązań. Autorzy podają w publikacji warunki wystarczające na stabilność w czasie skończonym rozwiązań równania zwyczajnego z prawą stroną będącą funkcją jedynie mierzalną po czasie. Podejście do badania stabilności w skończonym czasie jest w pracy nowatorskie i nie było wcześniej wprowadzone w literaturze. Autorzy wykorzystali tutaj metody oparte na teorii dualności, funkcji Lapunowa i nierówności Hamiltona-Jacobiego. Jako ilustrację głównych rezultatów pracy podano zastosowanie twierdzenia o stabilności w czasie skończonym do numerycznej analizy stabilności pewnej sieci neuronowej modelowanej przez równanie różniczkowe zwyczajne. Praca [A2] jest kontynuacją wcześniejszych publikacji autorów, ale obejmuje sytuacje ogólniejsze i podaje twierdzenia mocniejsze od poprzednich.

Badaniu stabilności semiliniowego równania cząstkowego typu parabolicznego poświęcona jest praca [A3]. Rozważane jest tutaj równanie paraboliczne z jednorodnym warunkiem brzegowym Dirichleta w ograniczonym obszarze przestrzeni \mathbb{R}^n i nieskończonym przedziale czasowym. Głównym celem pracy jest zbadanie stabilności w czasie skończonym równania parabolicznego, a głównym rezultatem jest warunek konieczny przy którym rozwiązanie równania parabolicznego z warunkiem początkowym w pobliżu zera zmierza do zera w skończonym czasie. Praca [A3] podaje nowe dualne podejście do stabilności w sensie Lapunowa i uważam ją za najbardziej interesującą w opiniowanym cyklu publikacji.

Publikacja [A4] dotyczy badania sterowalności do zera w ustalonym czasie równania różniczkowego zwyczajnego i znalezienia “czasu ustalania się” (settling-time) układów stabilnych. Wykorzystując narzędzia teorii sterowania optymalnego wykazano rezultat o istnieniu czasu ustalania przy założeniu globalnej stabilności układu w skończonym czasie. Zaproponowano także twierdzenie weryfikujące czas ustalania oraz zaproponowano zagadnienie sterowania optymalnego, które może pomóc w obliczaniu czasu ustalania.

Publikacja [A5] dotyczy podobnych zagadnień z zakresu stabilności jak prace [A2] i praca “Anna Michalak, Andrzej Nowakowski, Finite-time and fixed-time stabilization by dual closed-loop controllers, *Optimal Control Applications and Methods* 43 (2022), 1047–1058” (poza cyklem publikacji), ale bada układ dwóch nieautonomicznych równań różniczkowych zwyczajnych. Wymaga to wprowadzenia nowej dualnej funkcji Lapunowa (zależnej od trzech zmiennych), która z kolei umożliwia udowodnienie warunków wystarczających dla stabilności i stabilności w skończonym czasie rozwiązania badanego układu równań. Ponadto, bardzo użyteczna metoda wprowadzona w tej pracy po raz pierwszy, pozwala, w porównaniu z innymi pracami autorów, na jednoczesne badanie stabilności dla równania wyjściowego i dla równania dualnego.

W podsumowaniu muszę podkreślić, że dobrze oceniam wartość naukową powyższych publikacji. Dają one odpowiedzi na jedno z najważniejszych i najciekawszych pytań jakie spotykamy w matematycznym modelowaniu zjawisk przyrodniczych i fizycznych: pytanie o stabilność problemu. W rzeczywistych zagadnieniach opisujących konkretne zjawiska, dane do problemu są obarczone błędem i stanowić mogą jedynie pewne przybliżenie wartości dokładnych. Analiza stabilności dla równań różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych jest bardzo użyteczna w praktyce przy konstrukcji algorytmów numerycznych. Badanie stabilności daje informacje o możliwych błędach jakie są dopuszczalne przy specyfikacji modelu matematycznego. Ponadto, w pewnych

sytuacjach, analiza wariacyjna podpowiada sposób rozwiązania konkretnego zadania z teorii równi różniczkowych i sterowania optymalnego.

Publikacje zawierają zbiór oryginalnych wyników naukowych. Niewątpliwą ich zaletą są konkretne przykłady ilustrujące otrzymane rezultaty. Pokazuje to umiejętności autorów i ich wysoki poziom wiedzy w zakresie równań różniczkowych, rachunku wariacyjnego i teorii sterowania. Tematyka znacznej większości prac dr Anny Michalak dotyczy podobnych zagadnień co cykl prac habilitacyjnych, w niektórych pracach autorka wykorzystuje wyniki zawarte w powyższych publikacjach. Świadczy to o tym, że dr Anna Michalak zajmuje się stosunkowo dość wąską dziedziną matematyki. Należy jednak zaznaczyć, że zajmuje się wieloma jej aspektami.

Dr Anna Michalak w okresie po doktoracie prowadziła różnorodną działalność naukową. W okresie po doktoracie wyniki naukowe prezentowała podczas 4 konferencji krajowych, kilku warsztatach i seminariach krajowych, oraz 6 konferencjach międzynarodowych. Jednotygodniowy staż naukowy odbyła w Lizbonie. Z dokumentacji nie wynika, aby kierowała i brała udział w projektach badawczych krajowych i międzynarodowych. Świadczyć to może o braku współpracy z matematykami z innych ośrodków, w tym zagranicznych.

Działalność dydaktyczna Dr Anny Michalak związana jest w całości z Wydziałem Ekonomiczno-Socjologicznym Uniwersytetu Łódzkiego i obejmuje koordynację przedmiotów, opracowanie skryptu, prowadzenie seminarium magisterskiego, opiekę naukową grupy studentów. Dr Michalak była promotorem pracy magisterskiej na kierunku Analizy Gospodarcza.

Osiągnięcia organizacyjne i popularyzujące naukę obejmują szerokie spektrum zajęć, od organizacji konferencji dydaktycznej, pracach w komisjach rekrutacyjnych, festiwalu nauki. Na podkreślenie zasługuje wolontariat przy nauczaniu matematyki i informatyki małych dzieci z rodzin zagrożonych społecznie.

Konkluzja. W podsumowaniu stwierdzam, że zarówno cykl prac habilitacyjnych jak i dorobek dr Anny Michalak poza publikacjami wchodzącymi do habilitacji świadczą o jego dużej wiedzy i biegłości w posługiwaniu się technikami rachunku wariacyjnego, analizy nieliniowej, technik dualności i równań różniczkowych. Uważam, że spełniony jest art. 219, ust. 1, pkt. 2, Ustawy z dnia 20 lipca 2018r., stanowiący podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie matematyka. Wnoszę o dopuszczenie dr Anny Michalak do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

prof. dr hab. Stanisław Migórski