

Warszawa, 19.06.2022

dr hab. inż. Edyta Ładyżyńska-Kozdraś, prof. uczelni
Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki
02-525 Warszawa, ul. Św. A. Boboli 8

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

kpt. mgr. inż. Mariusza Adamskiego

pt.: *Badanie magnetycznej metody wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota*

wykonanej w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych

promotor: dr hab. inż. Andrzej SZELMANOWSKI

promotor pomocniczy: dr inż. Wiesław MILEWSKI

Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie pisma Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, dr hab. inż. Mariusza Zieji, prof. ITWL, z dnia 1.04.2022 r., w związku z powołaniem w dniu 23.02.2022 recenzentów rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mariusza Adamskiego (pismo o sygnaturze 11/SN/R/22 z dnia 1.04.2022).

1. Sylwetka Doktoranta, wybór problematyki badawczej

Kpt. mgr inż. Mariusz Adamski jest absolwentem Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej. Po ukończeniu studiów oraz promocji oficerskiej, w 2014r. został przydzielony do 32 Bazy Lotnictwa Taktycznego w Łasku, gdzie do roku 2020 pełnił funkcję młodszego inżyniera eksploatacji osprzętu samolotu F-16 Block 52+. W trakcie służby w Łasku brał udział w Polskim Kontyngencie Wojskowym w Kuwejcie – operacja Inherent Resolve. Jest przeszkolony z 3 typów statków powietrznych takich jak F-16 (specjalista systemów elektrycznych oraz systemów sterowania lotem), M-346 Master (specjalista awioniki) oraz M28B/PT (specjalista awioniki).

Jego zainteresowanie tematyką, która była następnie analizowana w ramach rozprawy doktorskiej zaczęło się, zgodnie ze słowami Doktoranta, podczas pracy w Łasku na samolocie F-16. Samolot ten wyposażony jest w nahełmowy system celowniczy JHMCS (Joint Helmet

Mounted Cueing System) umożliwiające sterowanie uzbrojeniem z wysoką dokładnością przy użyciu głowy pilota. Impulsem do podjęcia tematu był fakt, iż producent czyli Lockheed Martin nie udostępnia żadnej wiedzy i dokumentacji dotyczącej tego z czego ten system się składa oraz jak działa. W ten sposób praca nad rozprawą doktorską stała się dla Doktoranta motywatorem poszerzenia wiedzy na temat rozwiązań konstrukcyjnych lotniczych nabełmowych systemów celowniczych, modelowania komputerowego oraz badania możliwości spełnienia wymagań w zakresie dokładności wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota.

Jednym z głównych mankamentów nabełmowych systemów wskazywania celu jest osiągnięcie zbyt małej dokładności do precyzyjnego wyznaczania linii wizowania pilota. Obecnie najważniejsze problemy są związane z algorytmami ograniczenia błędów oceny pozycji i orientacji hełmu oraz wymaganiami w zakresie możliwości zobrazowania grafiki trójwymiarowej w dynamicznym środowisku lotu statku powietrznego. Wychodząc naprzeciw tym potrzebom, Doktorant pokusił się o opracowanie modelu symulacyjnego wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota oraz jego badania dla wybranych źródeł zakłóceń pracy lotniczych nabełmowych systemach celowniczych.

Jako obiekt badań Doktorant wziął pod uwagę nabełmowy system celowniczy NSC-1 Orion dedykowany dla śmigłowca W-3PL Głuszec. System ten został opracowany w ITWL, w ramach projektu badawczego NCBiR, realizowanego w latach 2009-2012. System ten wymaga modyfikacji zastosowanych rozwiązań, zarówno w zakresie czujników jak i algorytmów przetwarzania danych pomiarowych. Wynika to z faktu, że niedokładności wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota w systemie NSC-1 Orion znacznie przekraczają wartości deklarowane dla zagranicznych jego odpowiedników. Z uwagi na ograniczenia w dostępności do najnowszych osiągnięć technologicznych, perspektywnym rozwiązaniem stało się, zaproponowane w dysertacji, opracowanie nowych sposobów wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota.

Uważam, iż uczynienie tej tematyki przedmiotem rozprawy doktorskiej jest ciekawym wyzwaniem, którego rozwiązanie jest podstawą uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

2. Analiza układu i treści pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska obejmuje 232 stron tekstu, który został podzielony na 8 rozdziałów (w tym wstęp i podsumowanie). Właściwą część rozprawy poprzedzają streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz 40. ważniejszych skrótów

i oznaczeń, a kończy wykaz literatury oraz załączniki, stanowiące ostatnich 35 stron rozprawy. W pracy brak jest spisu rysunków i tabel zamieszczonych w tekście dysertacji.

Układ pracy stanowi logiczną całość, a zawarte w poszczególnych rozdziałach treści są proporcjonalne do wagi prezentowanej w nich problematyki. Rozprawa pod względem redakcyjnym została opracowana i wykonana bardzo starannie. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż każdy rozdział zakończony jest podrozdziałem zawierającym merytoryczne wnioski, które podsumowują zawarte w rozdziale treści.

We wstępie, będącym pierwszym rozdziałem pracy, Doktorant przeprowadził analizę literaturową poświęconą budowie i badaniom systemów nahałmowego sterowania uzbrojeniem. Dokonał przeglądu generacji nahałmowych systemów celowniczych ze szczególnym uwzględnieniem metod wyznaczania położenia hełmu. Przeprowadził analizę rozwiązań światowych w zakresie funkcji, architektury i zasady działania nahałmowych systemów celowniczych. Naświetlił najważniejsze problemy naukowe wynikające z budowy i wpływające na proces badań funkcjonalnych nahałmowego systemu celowniczego. Główna uwaga została tu zwrócona na późniejszy obiekt badań Doktoranta, zbudowany w ITWL jako demonstrator technologii, system NSC-1 Orion dla śmigłowca W-3PL Głuszec. Przeprowadzona przez Autora analiza dotychczas prowadzonych badań tego systemu, wzbogacona dogłębnym przeglądem literaturowym innych rozwiązań, pozwoliła na określenie problemów i wytyczenie kierunków badań przewidzianych do podjęcia w pracy.

W rozdziale drugim, na podstawie przeprowadzonych analiz w zakresie problemów występujących w procesie projektowania i eksploatacji nahałmowych systemów celowniczych zostały sformułowane dwa cele pracy (poznawczy i praktyczny), określona teza naukowa oraz pokrótce omówiony zakres poszczególnych rozdziałów.

Sformułowaną tezę, iż *zastosowanie modelowania i badań symulacyjnych metody magnetycznej z wykorzystaniem rachunku opartego na macierzy cosinusów kierunkowych umożliwia określenie jej właściwości statycznych i dynamicznych w zakresie wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota oraz możliwości zastosowania tej metody w lotniczych nahałmowych systemach celowniczych*, uważam za racjonalną i adekwatną do postawionych celów badań, którymi było:

- a) *określenie stanu wiedzy o zasadach działania i właściwościach lotniczych nahałmowych systemów celowniczych stosowanych w wybranych krajowych i zagranicznych rozwiązaniach konstrukcyjnych oraz opracowanie metody wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota z wykorzystaniem układu magnetycznego i obliczeń bazujących na macierzy cosinusów kierunkowych (dla przyjętej koncepcji jej wykorzystania)*

b) *opracowanie algorytmu i aplikacji programowej w zakresie wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota z wykorzystaniem układu magnetycznego dla nahełmowego systemu celowniczego NSC-1 Orion zbudowanego w ITWL oraz określenie jego charakterystyk statycznych i dynamicznych (błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota).*

Rozdział trzeci poświęcony został analizie funkcjonalnej wybranych rozwiązań nahełmowych systemów celowniczych. Szczególną uwagę Doktorant skupił tu na systemach wykorzystujących metodę magnetyczną, zastosowanych na samolocie F-16 oraz zbudowanym w ITWL systemie dla śmigłowca W-3PL. Na tej podstawie Doktorant określił cechy charakterystyczne i wnioski z analizy funkcjonalnej nahełmowych systemów celowniczych samolotu F-16 i śmigłowca W-3PL w zakresie zastosowanej zasady działania, ograniczeń w wyznaczaniu położenia kąтового hełmu pilota i warunków badań.

W rozdziale czwartym zaprezentowana została – kluczowa dla pracy – opracowana przez Doktoranta magnetyczna metoda wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota względem kabiny statku powietrznego, z wykorzystaniem macierzy cosinusów kierunkowych. Oryginalność tej metody polega na zauważeniu i wykorzystaniu przez Autora analogii pomiędzy sposobem wyznaczania kątów orientacji przestrzennej statku powietrznego względem horyzontalnego układu nawigacyjnego (kąty pochylenia, przechylenia i odchylenia), a sposobem wyznaczania kątów położenia hełmu pilota względem kabiny statku powietrznego (kąty elewacji i azymutu). Ważnym aspektem prowadzonych badań, było określenie zakresów położenia i prędkości kątowych pilota dla wychyleń jego głowy podczas wykrywania i śledzenia celu oraz zakresów dopuszczalnych wartości pola magnetycznego generowanego w kabinie statku powietrznego i oddziałującego na głowę pilota. Umożliwiło to Autorowi określenie parametrów technicznych układu magnetycznego przyjętego do generacji i pomiaru pola magnetycznego w nahełmowym systemie celowniczym z metodą magnetyczną.

Następnie Doktorant zaprezentował, będący jednym z celów dysertacji, opracowany przez siebie model matematyczny oraz algorytm wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota, na bazie pomiaru składowych pola magnetycznego w czasie zasilania ortogonalnie zabudowanych cewek magnetycznych, przy zastosowaniu macierzy cosinusów kierunkowych. Przedstawione zostały zależności opisujące tę metodę dla przypadku wykorzystania pola magnetycznego jednorodnego i niejednorodnego generowanego na statku powietrznym do wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota. Autor określił też ograniczenia stosowalności opracowanej metody obliczeń.

W rozdziale piątym zawarty został opis opracowanego przez Doktoranta modelu symulacyjnych funkcjonowania nahełmowego systemu celowniczego z opracowaną metodą

magnetyczną. Autor wykazał, że zastosowanie układu trzech ortogonalnie zabudowanych cewek płaskich umożliwia otrzymanie charakterystyki niezbędnej do wyznaczenia odchylenia liniowego punktu pomiarowego względem punktu neutralnego (na osi symetrii cewki o jednorodnym polu magnetycznym). Znajomość tych odchyłek pozwala na realizację algorytmu korekcji wpływu zakrzywienia pola magnetycznego i zmniejszenie błędów określania położenia kąтового hełmu pilota względem kabiny śmigłowca. Godny podkreślenia jest to aspekt użyteczny prowadzonych przez Doktoranta badań, w postaci zaimplementowania opracowanych algorytmów obliczeniowych w laboratorium Zakładu Awioniki ITWL do nahałmowego sterowania położeniem kątowym wybranych ruchomych systemów pokładowych.

W rozdziale szóstym Doktorant zaprezentował badania numeryczne opracowanego modelu symulacyjnego funkcjonowania nahałmowego systemu celowniczego z metodą magnetyczną. Określił błędy wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota w warunkach statycznych i dynamicznych dla przyjętych maksymalnych położzeń kątowych i maksymalnych prędkości ruchu kąтового hełmu pilota. Wykonane badania numeryczne umożliwiły sprecyzowanie ważnych wniosków, m.in., że głównym źródłem błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota jest zakrzywienie pola magnetycznego generowanego przez rzeczywiste cewki płaskie, które pojawia się dla pomiarów poza punktem neutralnym. Na tej podstawie Doktorant opracował wytyczne do badań eksperymentalnych, które stanowiły meritum następnego rozdziału.

Ważnym elementem dysertacji, podkreślającym jej użyteczny charakter, jest zaprezentowana w rozdziale siódmym eksperymentalna weryfikacja wyników badań numerycznych modelu symulacyjnego funkcjonowania nahałmowego systemu celowniczego z metodą magnetyczną. Doktorant opisał przyjęty, autorski program badań oraz zbudowane stanowiska do określania błędów wyznaczania położenia hełmu pilota dla algorytmu wykorzystującego macierz cosinusów kierunkowych. Badania weryfikacyjne były realizowane w warunkach statycznych i dynamicznych. Na tej podstawie zostały określone wartości błędów dla algorytmów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota. Pozwoliło to Autorowi na sformułowanie wytycznych w zakresie zaleceń konstrukcyjnych do wersji docelowej systemu nahałmowego. Ważnym – sformułowanym przez Doktoranta – wnioskiem płynącym z przeprowadzonych badań jest fakt, iż modyfikowany w przyszłości nahałmowy system celowniczy NSC-1 Orion może wykorzystywać układ magnetyczny z metodą obliczeń bazującą na macierzy cosinusów kierunkowych, wyznaczonej z mierzonych składowych generowanego pola magnetycznego.

Merytoryczną część dysertacji zamyka rozdział ósmy, będący podsumowaniem przeprowadzonych przez Doktoranta prac badawczych. Autor przedstawił tu najważniejsze wnioski końcowe wynikające z opisanych w rozprawie rozważań naukowych, wykazując iż teza pracy została udowodniona, a cele osiągnięte.

Zawarty w pracy wykaz literatury obejmuje 158, uporządkowanych alfabetycznie, pozycji literaturowych w języku polskim i angielskim, w tym sześć współautorstwa Doktoranta. Literatura została dobrana właściwie i z należytą starannością, jedynie w pozycjach 136 – 148 wykaz autorów jest niezgodny z przyjętą wcześniej konwencją.

Pracę zamykają załączniki, w których Autor zamieścił tabele wyników najważniejszych badań symulacyjnych i eksperymentalnych, których wykonanie umożliwiło określenie błędów opracowanej magnetycznej metody wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota oraz możliwości jej wykorzystania w nahełmowym systemie celowniczym NSC-1 Orion.

Reasumując, praca stanowi logiczną, spójną całość dobrze zredagowaną zarówno pod względem merytorycznym, jak i edytorskim oraz językowym. Tytuł pracy ściśle odpowiada opisywanym w niej zagadnieniom. Używana w pracy nomenklatura jest prawidłowa. Zakres wykonanych przez Autora badań i analiz w pełni potwierdza zrealizowanie tezy i celu pracy. Proporcje tematyczne treści kolejnych rozdziałów są właściwe i stanowią logiczną całość. Dysertacja została przygotowana w estetyczny sposób. Drobne niedociągnięcia i błędy, które dostrzegłam podczas jej lektury, wraz z nasuwającymi się pytaniami przedstawiam poniżej.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Wybór tematyki rozprawy uważam za aktualny i perspektywiczny. Został on trafnie dobrany i umiejętnie zrealizowany zarówno z teoretyczno-poznawczego, jak i utylitarnego punktu widzenia. Walory naukowe pracy polegają na:

- Opracowaniu metody wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota względem kabiny, z wykorzystaniem układu magnetycznego i obliczeń bazujących na macierzy cosinusów kierunkowych. Oryginalność tej metody polega na zauważeniu i wykorzystaniu przez Doktoranta analogii pomiędzy sposobem wyznaczania kątów orientacji przestrzennej statku powietrznego względem horyzontalnego układu nawigacyjnego (kąty pochylenia, przechylenia i odchylenia), a sposobem wyznaczania kątów położenia hełmu pilota względem kabiny statku powietrznego (kąty elewacji i azymutu). Metoda jest skuteczna dla trzech ortogonalnie zabudowanych cewek płaskich wytwarzających jednorodne (niezakrzywione) pole magnetyczne.

- Opracowaniu algorytmu wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota z wykorzystaniem macierzy cosinusów kierunkowych dla jednorodnego pola magnetycznego oraz algorytmu korekcji błędów wywołanych wpływem zakrzywienia pola magnetycznego generowanego przez rzeczywiste cewki płaskie.
- Opracowaniu modelu symulacyjnego funkcjonowania nabełmowego systemu celowniczego z metodą magnetyczną wykorzystującą macierz cosinusów kierunkowych oraz podanie opisu matematycznego modelu pola generowanego przez idealną cewkę płaską (pole jednorodne) i modelu pola generowanego przez rzeczywistą cewkę płaską (pole niejednorodne) z badaniami w środowisku COMSOL.
- Aspekt użyteczny, w postaci perspektywy wykorzystania opracowanych algorytmów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota w nabełmowym systemie celowniczym NSC-1 Orion przeznaczonym do sterowania uzbrojeniem kierowanym śmigłowca W-3PL Głuszec.

Ponadto, z całą stanowczością mogę stwierdzić, iż:

- Zagadnienie naukowe zostało jasno sformułowane i rozwiązane, a postawione cele naukowe zostały osiągnięte;
- Doktorant właściwie przeprowadził analizę literaturową oraz określił stan wiedzy na temat analizowanego zagadnienia naukowego;
- Dysertacja została przygotowana w sposób staranny, stanowi logiczną, spójną całość;
- Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny;
- Rozprawę można jednoznacznie zaliczyć do dyscypliny inżynieria mechaniczna;
- Doktorant wykazał się wysokim poziomem wiedzy we wspomnianej dyscyplinie oraz wykazał umiejętność i cechy do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Do mankamentów, które można dostrzec w trakcie lektury pracy należą:

- Wykorzystanie czujnika pola magnetycznego o stosunkowo dużych błędach własnych w porównaniu do obecnie dostępnych na rynku (choć taki właśnie został zastosowany w systemie NSC-1 Orion dla śmigłowca W-3PL Głuszec).
- Istotne zmniejszenie dokładności wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota z wykorzystaniem metody macierzy cosinusów kierunkowych dla dużych odchyłeń hełmu pilota (rzędu ± 6 cm) od położenia neutralnego.
- Zastosowanie w układzie cewek płaskich, generujących pole magnetyczne o dużym zakrzywieniu, które jest głównym źródłem niedokładności wyznaczania kątów

położenia hełmu pilota, obniżającej skuteczne rażenie różnego rodzaju celów naziemnych i powietrznych, zarówno ruchomych jak i nieruchomych.

W ramach publicznej obrony, proszę o analizę możliwości wykorzystania innych rozwiązań w zakresie nadajników pola magnetycznego o bardziej jednorodnej charakterystyce, które mogłyby poprawić dokładności wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota opracowaną w dysertacji metodą.

Rozprawa napisana jest starannie, szata graficzna jest przejrzysta, a język pracy poprawny. Zdarzają się jedynie nieliczne błędy, głównie tzw. „literówki” np.: „wyświetlanie grafikę” (st. 38), „czujnika związanym z hełmem” (str. 65), „dużych wychylenia” (str. 77). W tytule podrozdziału 4.3 zamiast „przyjętego do generacji” – powinno być generowania. Pewną niedogodnością, w trakcie lektury pracy, są bardzo rozbudowane zdania, osiągające długość kilku wierszy, co czyni tekst mniej przejrzystym.

Wymienione uwagi nie mają wpływu na ogólną ocenę rozprawy, która niewątpliwie wnosi cenny wkład w rozwoju nahałmowych systemów celowniczych polskiego przemysłu lotniczego.

4. Podsumowanie

Rozprawę doktorską kpt. mgr. inż. Mariusza Adamskiego oceniam bardzo wysoko. Jest ona opracowaniem oryginalnym i świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Wszystkie podejmowane w dysertacji wątki są ważne zarówno w aspekcie teoretycznym, jak i użytkowym. Doktorant wykazał się wiedzą i dojrzałością naukową w formułowaniu zagadnień, realizacji rozwiązań i wyciąganiu właściwych wniosków. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, iż kpt. mgr. inż. Mariusz Adamski ma bardzo dobre przygotowanie teoretyczne i warsztatowe do twórczej pracy naukowej.

W moim przekonaniu rozprawa doktorska kpt. mgr. inż. Mariusza Adamskiego spełnia wymagania stawiane przez aktualnie obowiązującą Ustawę z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65). Stawiam wniosek o **przyjęcie rozprawy i dopuszczenie kpt. mgr. inż. Mariusza Adamskiego do jej publicznej obrony.**

E. Łodyński