

Kielce, dnia 28.05.2022 r.

dr hab. inż. Izabela Krzysztofik, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Mechatroniki i Uzbrojenia

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgra inż. Mariusza Adamskiego**

pt. „Badanie magnetycznej metody wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota”

Podstawa wykonania recenzji:

Podstawą niniejszej recenzji jest pismo zastępcy przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych dr hab. inż. Mariusza Zieja, prof. ITWL z dnia 1 kwietnia 2022 r. z prośbą o opracowanie recenzji rozprawy mgra inż. Mariusza Adamskiego pt. „*Badanie magnetycznej metody wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota*”, w związku z powołaniem na recenzenta przez Radę Naukową ITWL.

1. Sylwetka Doktoranta

Mgr inż. Mariusz Adamski rozpoczął w 2009 roku studia na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej, na kierunku lotnictwo i kosmonautyka, specjalność awionika. W 2014 roku obronił pracę magisterską obejmującą analizę dostępności i jakości sygnału radiowego w awionicznym module bezprzewodowej transmisji danych. Po ukończeniu studiów rozpoczął służbę wojskową w 32 Bazie Lotnictwa Taktycznego w Łasku, gdzie pełnił funkcję młodszego inżyniera eksploatacji osprzętu samolotu F-16 Block 52+. W trakcie służby brał udział w Polskim Kontyngencie Wojskowym w Kuwejcie.

Odbył przeszkolenie z 3 typów statków powietrznych:

F-16, w zakresie specjalista systemów elektrycznych oraz systemów sterowania lotem;

M-346 Master, w zakresie specjalista awioniki oraz M28B/PT również w zakresie specjalista awioniki.

W swoim dorobku naukowym Doktorant posiada sześć współautorskich publikacji: trzy artykuły w czasopiśmie *Journal of KONES*, jeden artykuł w *Zeszytach Naukowych Akademii Marynarki Wojennej*, jeden artykuł w czasopiśmie *Problemy Mechatroniki* oraz

jedną publikację w materiałach konferencyjnych *Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Naukowe aspekty eksploatacji załogowych i bezzałogowych statków powietrznych”*.

2. Zakres i charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. *„Badanie magnetycznej metody wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota”* obejmuje 196 stron, w tym: pięć stron spisu treści, po jednej stronie streszczenia wraz ze słowami kluczowymi po polsku i angielsku, jedną stronę wykazu najważniejszych skrótów i oznaczeń oraz czternaście stron spisu bibliografii zawierającego 158 pozycji uporządkowanych alfabetycznie. Ponadto praca zawiera dwanaście załączników, które obejmują 36 stron.

Praca została podzielona na siedem rozdziałów oraz podsumowanie. Praca koncentruje się wokół zastosowań modelowania komputerowego dla algorytmów wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota w nahałmowych systemach celowniczych, stosowanych do naprowadzania lub wskazywania celu dla ruchomego uzbrojenia pokładowego w zaawansowanych technologicznie bojowych statkach powietrznych. Temat pracy jest aktualny i wynikał z potrzeb określenia przyczyn występowania niedokładności w wyznaczaniu położenia kąowego hełmu pilota względem kabiny śmigłowca dla nahałmowego systemu celowniczego NSC-1 Orion. System ten został zbudowany w ITWL w ramach projektu badawczego NCBiR realizowanego przez konsorcjum naukowo-przemysłowe i dedykowany jest dla śmigłowca W-3PL Głuszec.

Podstawowym celem rozważań Doktoranta była analiza dotychczas stosowanych algorytmów wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota względem kabiny statku powietrznego, opracowanie nowej metody i określenie jej dokładności oraz oszacowanie możliwości spełnienia przyjętych wymagań uwzględniając postęp technologiczny magnetycznych układów pomiarowych oraz układów obliczeniowych. Ponadto Doktorant w swoich rozważaniach skupił się nad określeniem możliwości implementacji opracowanych algorytmów w nahałmowym systemie celowniczym NSC-1 Orion dla śmigłowca W-3PL Głuszec. Doktorant opracował metodę wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota względem kabiny wykorzystującą macierz cosinusów kierunkowych określoną na podstawie pomiarów składowych pola magnetycznego sztucznie generowanego na pokładzie statku powietrznego oraz odpowiedni model matematyczny. Następnie opracował algorytm wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota oraz algorytm korekcji błędów wywołanych wpływem zakrzywienia pola magnetycznego generowanego przez rzeczywiste cewki płaskie. Algorytmy te jako aplikacje programowe zaimplementowano w zbudowanym przez

Doktoranta nahełmowym module sensorów z wykorzystaniem trójosiowego czujnika magnetycznego ADIS-16405, co pozwoliło na przeprowadzenie badań eksperymentalnych. Doktorant opracował również program symulacyjny w pakiecie obliczeniowym Matlab i przeprowadził szereg badań symulacyjnych funkcjonowania nahełmowego systemu celowniczego. Dokonał weryfikacji wyników pomiarów otrzymanych z nahełmowego modułu sensorów z wynikami badań symulacyjnych w zakresie dokładności w wybranych stanach statycznych i dynamicznych. Praca ma więc charakter teoretyczny i eksperymentalny podbudowany badaniami symulacyjnymi. Aspektem praktycznym pracy było określenie błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota dla modeli rzeczywistych cewek płaskich generujących pole magnetyczne w układzie ortogonalnym. Praca ma również potencjał aplikacyjny. Opracowane przez Doktoranta algorytmy obliczeniowe mogą być zaimplementowane w postaci alternatywnych aplikacji programowych w nahełmowym systemie celowniczym NSC-1 Orion przeznaczonym do sterowania uzbrojeniem pokładowym śmigłowca W-3PL Głuszec.

Rozdział 1 stanowi wstęp rozprawy. Doktorant na podstawie przeglądu dostępnej literatury polskiej i zagranicznej przedstawił krótko generacje nahełmowych systemów celowniczych dla samolotów i śmigłowców. Następnie opisał wybrane problemy budowy i eksploatacji nahełmowych systemów celowniczych w lotnictwie Sił Zbrojnych RP, w tym: zawarł analizę rozwiązań światowych w zakresie funkcji, zasady działania i rozwiązań konstrukcyjnych nahełmowych systemów celowniczych oraz omówił właściwości i błędy wybranych metod stosowanych do wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota. Szczególną uwagę zwrócił na jeden z ważniejszych problemów występujących na etapie budowy i eksploatacji nahełmowych systemów celowniczych w lotnictwie SZ RP jakim jest osiągnięcie wymaganej dokładności wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota. Rozdział kończą wnioski z przeprowadzonej analizy literatury.

W *Rozdziale 2* Doktorant przedstawił cel i tezę naukową pracy. W wyniku przeprowadzonej analizy w zakresie problemów występujących w trakcie projektowania eksploatacji nahełmowych systemów celowniczych Doktorant sformułował cel naukowy pracy jako *określenie stanu wiedzy o zasadach działania i właściwościach lotniczych nahełmowych 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).*

Sformułował również cel praktyczny pracy, którym jest *opracowanie algorytmu i aplikacji programowej w zakresie wyznaczania położenia kąтового helmu pilota z wykorzystaniem układu magnetycznego dla nahałmowego systemu celowniczego NSC-1 Orion zbudowanego w ITWL oraz określenie jego charakterystyk statycznych i dynamicznych (błędów wyznaczania położenia kąтового helmu pilota).*

Ponadto sformułował następującą tezę pracy: *Zastosowanie modelowania i badań symulacyjnych metody magnetycznej z wykorzystaniem rachunku opartego na macierzy cosinusów kierunkowych umożliwi określenie jej właściwości statycznych i dynamicznych w zakresie wyznaczania położenia kąтового helmu pilota oraz możliwości zastosowania tej metody w lotniczych nahałmowych systemach celowniczych.*

Uważam, że cel naukowy pracy mógłby ograniczyć się do opracowania metody wyznaczania położenia kąтового helmu pilota z wykorzystaniem układu magnetycznego i obliczeń bazujących na macierzy cosinusów kierunkowych. Określenie stanu wiedzy o zasadach działania i właściwościach lotniczych nahałmowych systemów celowniczych stosowanych w wybranych krajowych i zagranicznych rozwiązaniach konstrukcyjnych było tu właśnie impulsem do opracowania metody magnetycznej opartej na macierzy cosinusów kierunkowych do wyznaczania położenia kąтового helmu pilota.

Rozdział drugi zawiera również syntetyczny opis każdego rozdziału pracy.

Rozdział 3 przedstawia analizę funkcjonalną nahałmowych systemów celowniczych wykorzystujących metodę magnetyczną. Do analizy wybrano dwa systemy:

- nahałmowy system celowniczy JHMCS, zabudowany na samolotach F-16, eksploatowany w jednostkach SZ RP, dla którego dostępne są opisy techniczne i instrukcje eksploatacji, oraz
- nahałmowy system celowniczy NSC-1, dedykowany dla śmigłowców W-3PL Głuszec, zbudowany w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych.

Analiza obejmowała przeznaczenie, zadania i funkcje, architekturę i główne elementy oraz zakres pracy i działania systemów celowniczych. Doktorant krótko scharakteryzował badania jakie były przeprowadzone w ITWL dla nahałmowego systemu celowniczego NSC-1 Orion, przedstawił zmodyfikowany na potrzeby tej pracy układ magnetyczny zastosowany w NSC-1 oraz sformułował wnioski zawierające wytyczne do przeprowadzenia badań tego układu.

Rozdział 4 zawiera opis metody magnetycznej wyznaczania położenia kąтового helmu pilota względem kabiny z wykorzystaniem macierzy cosinusów kierunkowych, a w szczególności:

- określenie warunków funkcjonowania nahałmowego systemu celowniczego z metodą magnetyczną;
- określenie parametrów technicznych układu magnetycznego przyjętego do generacji i pomiaru pola magnetycznego w nahałmowym systemie celowniczym z metodą magnetyczną
- określenie sposobu realizacji obliczeń numerycznych zastosowanych do wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota w nahałmowym systemie celowniczym z metodą magnetyczną.

Doktorant wyznaczył zakresy położzeń kątowych i prędkości kątowych hełmu pilota dla wychyleń głowy podczas wykrywania i śledzenia celu, a także zakresy dopuszczalnych wartości pola magnetycznego generowanego w kabinie statku powietrznego a oddziałującego na głowę pilota. Następnie bazując na danych systemu NSC-1 Orion, szczegółowo opisał przeznaczenie i funkcje zmodyfikowanego magnetycznego układu pomiarowego, z wykorzystaniem 3-osowego czujnika MEMS ADIS-16405, jego strukturę i główne elementy oraz tryby pracy i działania. Kolejno przedstawił zależności matematyczne opisujące autorskie rozwiązanie wyznaczania kąta elewacji i azymutu hełmu pilota względem kabiny statku powietrznego metodą magnetyczną opartą na macierzy cosinusów kierunkowych, z wykorzystaniem dwóch modeli pola magnetycznego czyli pola jednorodnego dla cewki idealnej i pola niejednorodnego dla cewki rzeczywistej. Rozdział kończą wnioski zawierające wytyczne do opracowania modelu symulacyjnego funkcjonowania nahałmowego systemu celowniczego.

Rozdziały 5, 6 i 7 obejmują kluczową część rozprawy. Zawierają algorytmy obliczeń bazujących na metodzie magnetycznej oraz wyniki szeregu badań symulacyjnych i eksperymentalnych.

W *Rozdziale 5* Doktorant przedstawił autorski model symulacyjny do realizacji obliczeń położenia kąтового hełmu pilota z wykorzystaniem macierzy cosinusów kierunkowych i sygnałów otrzymywanych z czujnika pola magnetycznego generowanego przez układ trzech soczewek płaskich w układzie ortogonalnym. Podał opis matematyczny modelu pola generowanego przez idealną oraz rzeczywistą cewkę płaską wraz z badaniami w środowisku COMSOL. Następnie podał zależności matematyczne autorskiego algorytmu korekcji błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota wynikających z zakrzywienia pola magnetycznego generowanego w kabinie. Kolejno przedstawił rozkład błędów wyznaczania kąta elewacji i azymutu hełmu pilota bez korekcji i z korekcją dla wybranych położzeń kątowych hełmu pilota oraz znacznych i nieznacznych odchyłek liniowych hełmu pilota

względem punktu neutralnego. Rozdział kończą wnioski precyzujące zakres prowadzonych dalej badań numerycznych.

Rozdział 6 zawiera wyniki badań numerycznych modelu funkcjonowania nabełmowego systemu celowniczego z metodą magnetyczną. Badania te wykonano dla następujących czterech przypadków:

1. określenie maksymalnych błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota w zakresie wpływu niedokładności obliczeń wykonywanych w komputerze pokładowym;
2. określenie maksymalnych błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota w zakresie wpływu niedokładności pomiaru za pomocą czujnika pola magnetycznego;
3. określenie maksymalnych błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota dla algorytmu bez korekcji wpływu niejednorodności generowanego pola magnetycznego;
4. określenie maksymalnych błędów wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota dla algorytmu z korekcją wpływu niejednorodności generowanego pola magnetycznego.

Dla każdego przypadku zrealizowano badania dla warunków statycznych (bez ruchu głowy pilota) i dla warunków dynamicznych (w czasie ruchu głowy pilota). Ponadto dla każdego przypadku Doktorant przedstawił schematycznie kolejność wykonywanych czynności obliczeniowych.

Jako pierwsze Doktorant określił błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu w warunkach statycznych i dynamicznych, dla przyjętych maksymalnych położzeń i prędkości kątowych hełmu pilota, w zakresie ograniczonej dokładności obliczeń realizowanych w komputerze pokładowym, przy czym czujnik znajdował się w osi symetrii cewek. Następnie Doktorant określił błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu w warunkach statycznych i dynamicznych, dla przyjętych maksymalnych położzeń i prędkości kątowych hełmu pilota, w zakresie błędów własnych czujnika pola magnetycznego, przy czym czujnik znajdował się w osi symetrii cewek. Kolejno Doktorant określił błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu w warunkach statycznych i dynamicznych dla algorytmu bez korekcji wpływu niejednorodności generowanego pola magnetycznego – czujnik znajdował poza osią symetrii cewek. Jako ostatnie Doktorant określił błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu w warunkach statycznych i dynamicznych dla algorytmu z korekcją wpływu niejednorodności generowanego pola magnetycznego – czujnik znajdował poza osią symetrii cewek. Kończąc rozdział Doktorant podał wnioski z przeprowadzonych badań oraz wytyczne do badań eksperymentalnych.

Rozdział 7 obejmuje kolejny etap pracy jakim była eksperymentalna weryfikacja wyników badań symulacyjnych modelu funkcjonowania nabełmowego systemu celowniczego z metoda magnetyczną, opisanego w rozdziale 5. Doktorant przedstawił dwa laboratoryjne stanowiska pomiarowe, zbudowane w ITWL tj. stanowisko obrotowe KPA-5 oraz stanowisko obrotowe PAN-TILT. Badania eksperymentalne wykonano dla dwóch przypadków:

- dla algorytmu bez korekcji niejednorodności generowanego pola magnetycznego tj. obliczenia nie uwzględniają zakrzywienia generowanego pola w obszarach poza punktem neutralnym;
- dla algorytmu z korekcją niejednorodności generowanego pola magnetycznego tj. obliczenia uwzględniają zakrzywienia generowanego pola w obszarach poza punktem neutralnym.

Dla każdego z przypadków badania przeprowadzono dla warunków statycznych, na stanowisku obrotowym KPA-5, i dla warunków dynamicznych, na stanowisku obrotowym PAN-TILT.

Jako pierwsze Doktorant przedstawił wyniki badań dla algorytmu bez korekcji niejednorodności generowanego pola magnetycznego. Doktorant kolejno określił:

- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w stanach statycznych, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (w punkcie neutralnym) i dla rzeczywistej niedokładności $\pm 0,01$ pomiaru pola magnetycznego przez czujnik ADIS-16405 na poziomie ± 5 [mGs];
- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w warunkach zadanej prędkości obrotu głowy, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (w punkcie neutralnym) i dla rzeczywistej niedokładności pomiaru pola magnetycznego przez czujnik ADIS-16405 na poziomie ± 5 [mGs];
- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w stanach statycznych, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się poza osią symetrii choć jeden cewki generującej w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (poza punktem neutralnym) i przy braku korekcji rzeczywistej niejednorodności pola magnetycznego generowanego przez trzy cewki płaskie;
- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w warunkach zadanej prędkości obrotu głowy, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (poza punktem neutralnym)) i przy braku korekcji

rzeczywistej niejednorodności pola magnetycznego generowanego przez trzy cewki płaskie.

Następnie Doktorant przedstawił wyniki badań dla algorytmu z korekcją niejednorodności generowanego pola magnetycznego. Doktorant kolejno określił:

- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w stanach statycznych, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (w punkcie neutralnym) i przy korekcji rzeczywistej niedokładności $\pm 0,01$ pomiaru pola magnetycznego przez czujnik ADIS-16405 na poziomie ± 5 [mGs];
- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w warunkach zadanej prędkości obrotu głowy, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (w punkcie neutralnym) i przy korekcji rzeczywistej niedokładności pomiaru pola magnetycznego przez czujnik ADIS-16405 na poziomie ± 5 [mGs];
- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w stanach statycznych, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się poza osią symetrii choć jeden cewki generującej w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (poza punktem neutralnym) i przy użyciu korekcji rzeczywistej niejednorodności pola magnetycznego generowanego przez trzy cewki płaskie;
- błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu, w warunkach zadanej prędkości obrotu głowy, gdy czujnik pola magnetycznego znajdował się w osi symetrii cewek generujących pole magnetyczne (poza punktem neutralnym)) i przy użyciu korekcji rzeczywistej niejednorodności pola magnetycznego generowanego przez trzy cewki płaskie.

Rozdział ten kończą wnioski ogólne z wykonanych badań weryfikacyjnych.

Doktorant przeprowadził szereg badań numerycznych i eksperymentalnych opracowanej metody wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota względem kabiny statku powietrznego. Dla każdego z wymienionych przypadków badań (opisanych w rozdziałach 6 i 7) podaje rzeczowe wnioski. Ponadto każdy z rozdziałów (z pominięciem rozdziału 2 dotyczącego celu i tezy pracy) kończą wnioski z prowadzonych analiz teoretycznych i badań. Uważam ten sposób przedstawienia podsumowania wyników własnych badań za właściwy i oceniam go wysoko.

Rozprawę kończy *Podsumowanie* i *wykaz literatury*.

Najważniejszym wnioskiem wpływającym z realizacji pracy jest to, że opracowany model symulacyjny funkcjonowania nahałmowego systemu celowniczego z metodą magnetyczną wykorzystującą macierz cosinusów kierunkowych pozwolił na określenie jej właściwości, w warunkach statycznych i dynamicznych, w zakresie dokładności wyznaczania kąta elewacji i azymutu hełmu pilota oraz możliwości zastosowania tej metody w lotniczych nahałmowych systemach celowniczych. Opracowane algorytmy obliczeniowe, w formie aplikacji programowych, znalazły zastosowanie w laboratorium ITWL do nahałmowego sterowania położeniem kątowym głowicy obserwacyjno-celowniczej co stanowi ważny aspekt praktyczny pracy. Cel pracy został zatem osiągnięty a zakres pracy zrealizowany.

Wykaz literatury obejmuje 158 pozycji, w tym 6 pozycji współautorskich Doktoranta.

Ponadto praca zawiera dwanaście załączników, w których znajdują się dane liczbowe zestawione w postaci tabelarycznej, uzyskane z badań symulacyjnych i eksperymentalnych oraz dodatkowych pomiarów pola magnetycznego, wykorzystywane do sporządzenia wykresów przedstawionych w rozdziałach 4-7.

3. Ogólna ocena rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej pt. „*Badanie magnetycznej metody wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota*” koncentruje się wokół badań nad opracowanym w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych nahałmowym system celowniczym NSC-1 Orion, dedykowanym dla śmigłowca W-3PL Głuszec. Doktorant podjął się istotnego zadania opracowania sposobu określenia położenia kąowego hełmu pilota z wykorzystaniem autorskiej metody wyznaczania macierzy cosinusów kierunkowych ze składowych pola magnetycznego występujących w poszczególnych chwilach zasilania cewek magnetycznych zabudowanych ortogonalnie.

Układ i struktura rozprawy są poprawne. Doktorant dokonał przeglądu literatury, przedstawił cel pracy (w tym cel naukowy i praktyczny), sformułował tezę naukową i problem badawczy. Praca zawiera część teoretyczną opisującą metodę magnetyczną wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota opartą na rachunku macierzowym oraz odpowiedni model symulacyjny oraz część praktyczną, w której przedstawiono szereg obliczeń numerycznych i wyniki weryfikacji eksperymentalnej przyjętego modelu funkcjonowania nahałmowego systemu celowniczego. Wyniki pracy prezentowane są w sposób przejrzysty, w postaci graficznej. Rozprawę kończy podsumowanie rozprawy i wyników przeprowadzonych analiz i badań.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć:

- opracowanie metody wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota względem kabiny statku powietrznego z wykorzystaniem układu magnetycznego i obliczeń opartych na macierzy cosinusów kierunkowych;
- opracowanie modelu symulacyjnego funkcjonowania nahełmowego systemu celowniczego;
- opracowanie algorytmu korekcji błędów wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota spowodowanych zakrzywieniem pola magnetycznego generowanego przez rzeczywiste cewki płaskie;
- oszacowanie możliwości zastosowania opracowanej metody w nahełmowym systemie celowniczym NSC-1 Orion.

Doktorant wykazał się wiedzą z zakresu pokładowych systemów generacji pola magnetycznego, modelowania, programowania oraz opracowania wyników badań. Opracowana przez Doktoranta metoda wyznaczania położenia kąowego hełmu pilota z wykorzystaniem macierzy cosinusów kierunkowych jest skuteczna dla jednorodnego pola magnetycznego. W przypadku dużych odchyłeń hełmu pilota rzędu ± 6 [cm], mimo zastosowania algorytmu korekcji błędów, występuje niestety znaczne zmniejszenie dokładności określania jego pozycji. Ponadto słabą stroną pracy, na co wskazuje sam Autor, jest brak analizy możliwości zastosowania innych rodzajów cewek np. cewki Helmholtza oraz użycie do badań czujnika pola magnetycznego starszego technologicznie o stosunkowo dużych błędach własnych. Należy jednak zwrócić uwagę, że przedstawione w pracy wyniki badań wymagały sporego nakładu pracy i czasu. Tematyka pracy jest przyszłościowa. Prowadzone przez Doktoranta badania mogą być wykorzystane do polepszania funkcjonowania nahełmowego systemu celowniczego.

Podsumowując, całość rozprawy oceniam wysoko.

Uwagi szczegółowe

Do najważniejszych uwag szczegółowych zaliczam następujące:

1. Rozprawa zredagowana jest bardzo staranie. Układ i opracowanie graficzne są bardzo dobre.
2. Występują nieliczne błędy stylistyczne np. str. 38 „wyświetlacz CRT, który zapewnia *wyświetlanie grafikę* dla symboliki HUD na wizjerze...”; str. 73 „...uzyskane pomiary współrzędnych pola magnetycznego przed *dalszą obróbką cyfrową* powinny być dodatkowo przefiltrowane”.
3. Rys. 3-12 powinien zawierać oznaczenia cewek A,B,C jak to wynika z opisu zamieszczonego poniżej rysunku. Analogiczna uwaga dotyczy również rys. 4-8.
4. Funkcje trygonometryczne powinny oznaczać się : arctg, arcctg, arcsin – patrz wzory 4-1, 4-2, 4-15, 4-16, 5-11, 5-12, 5-13.
5. Rys. 4-9 jest słabej jakości.
6. Przynajmniej we wzorze 4-20 należało jeszcze wyjaśnić symbol μ .
7. Czy Autor korzystał z wewnętrznej filtracji czujnika ADIS? Jakiej przyjęto do filtracji?
8. Wzory 4-11 do 4-14 są identyczne z wzorami 5-1 do 5-7. Z kolei wzór 5-3 jest identyczny z 5-8. Czy można było uniknąć tych powtórzeń?
9. Z jakich zależności na określenie kąta elewacji i azymutu korzystał Autor w swoim modelu symulacyjnym 4-15, 4-16 czy 5-12 i 5-13? Czy miało to wpływ na błędy wyznaczania?
10. Na rys. 5-10 pokazano rozkład składowej pionowej pola magnetycznego wyznaczony na podstawie wartości z Tabeli 5-3 (załącznik 2), które wynoszą 0 dla każdej odchyłki w płaszczyźnie x-y. Autor stwierdza, że rozkład składowej pionowej pola magnetycznego jest przypadkowy. Proszę uzasadnić.
11. Autor na samym początku badań powinien uwypuklić w tekście jaki poziom błędów był dopuszczalny dla NSC-1 Orion.
12. Rysunek 6-1 jest tożsamy z 6-6, więc można było go pominąć.
13. Czy stwierdzenie od czego zależą błędy dynamiczne wyznaczania położenia kąтового hełmu pilota jest adekwatne zarówno dla przypadku badań opisanego w rozdziale 6.2 jak i 6.3? – patrz str. 122 i 128.
14. Badania dla warunków dynamicznych wykonywano z opóźnieniem czasowym. Jak duże było to opóźnienie? Czy wyznaczona na podstawie średniego położenia kąтового hełmu pilota macierz pomiarowa nie miała wpływu na błędy?

15. Jak liczba pomiarów przyjęta była do realizacji badań? – patrz str. 153 (ostatni akapit).
16. Dlaczego błąd rzędu $\pm 8,4$ [deg] można pominąć w badaniach algorytmów z opracowaną przez Autora metodą wyznaczania położenia hełmu pilota?
17. Na str.156 (trzeci akapit) Autor przytacza stwierdzenie dotyczące błędów w obszarze poza punktem neutralnym a badania w tym rozdziale dotyczyły umieszczenia czujnika w punkcie neutralnym. Analogiczna uwaga dotyczy stwierdzenia na str. 164 i 166 (czwarty akapit).
18. Proszę odnieść się skąd mimo wszystko pojawiają się duże błędy wyznaczania kąta elewacji i azymutu pokazane na rys. 7-16 i 7-17.
19. Czy stwierdzenie o głównym czynniku mającym wpływ na wartości błędów jest adekwatne dla obu przypadków badań opisanych w rozdziale 7 – patrz str. 162 i 172?
20. Proszę wyjaśnić wniosek przytoczony w ostatnim akapicie na str. 166 biorąc pod uwagę rysunki 7-20 i 7-21.

Powyższe uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy. Praca ma charakter teoretyczny i eksperymentalny oraz potencjał praktyczny. Doktorant podjął się rozwiązania aktualnego problemu badawczego i wykazał się wiedzą z zakresu metod modelowania komputerowego oraz prowadzenia badań symulacyjnych i laboratoryjnych. Cel naukowy i praktyczny pracy został osiągnięty.

4. Ocena końcowa rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawę doktorską mgr. inż. Mariusza Adamskiego oceniam wysoko. Rozprawa dotyczy aktualnego zagadnienia badawczego dotyczącego zastosowania modelowania komputerowego dla algorytmów wyznaczania położenia kąтового helmu pilota w nabełmowych systemach celowniczych, stosowanych do naprowadzania lub wskazywania celu dla ruchomego uzbrojenia pokładowego bojowych statków powietrznych. Analiza wyników badań numerycznych i eksperymentalnych została przeprowadzona prawidłowo. Sformułowany cel pracy został osiągnięty. Praca świadczy o dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Doktorant wykazał się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami prowadzenia badań naukowych i interpretacji wyników. Problematyka rozprawy mieści się w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Mariusza Adamskiego pt. „*Badanie magnetycznej metody wyznaczania położenia kąтового helmu pilota*” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez aktualnie obowiązującą Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i **wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony**.