

Prof. dr hab. inż. Bogdan Sapiński  
Akademia Górniczo-Hutnicza,  
Katedra Automatykacji Procesów  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 30.03.2017.

## **Recenzja**

rozprawy doktorskiej mgra inż. **Łukasza Noconia**

pt.

**”Opracowanie i analiza algorytmów naprowadzania przeciwpancernego pocisku raketowego trzeciej generacji z możliwością omijania przeszkód,,**

promotor: prof. dr hab. inż. **Zbigniew Koruba**

promotor pomocniczy: dr inż. **Konrad Stefański**

opracowana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej zawartego w piśmie MD-510/18/2017 z dnia 19.01.2017.

### **1. Wstęp**

Mgr inż. Ł. Nocoń ukończył studia na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej (WMBM PŚ) w dyscyplinie Mechanika i Budowa Maszyn ze specjalnością Uzbrojenie i Techniki Informatyczne. Na tymże wydziale odbył studia doktoranckie. W 2009 r. ukończył studia matematyczne w zakresie zastosowania matematyki w finansach i teleinformatyce na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego w Kielcach.

Doktorant jest autorem 1 artykułu i współautorem 13 artykułów, z których 2 opublikowano w czasopismach naukowych z listy A MNiSW, 2 w czasopismach z listy B, 2 w materiałach konferencyjnych znajdujących się w bazie WoS, a 2 to rozdziały w monografiach. Pozostałe prace nie są odnotowane na liście MNiSW. W większości prac współautorami są promotor i/lub promotor pomocniczy.

W okresie studiów doktoranckich mgr inż. Ł. Nocoń prowadził zajęcia dydaktyczne z przedmiotów: Roboty mobilne, Analiza matematyczna, Algebra liniowa, Podstawy informatyki i Technologie informacyjne.

W latach 2013–2017 Doktorant brał udział w 4 uczelnianych projektach badawczych. W 2 projektach był kierownikiem, a w 2 wykonawcą. Realizował także pracę własną finansowaną ze środków WMBM PŚ. Uczestniczył aktywnie w pracach i seminariach Katedry Techniki Komputerowych i Uzbrojenia.

Praca doktorska mgr inż. Ł. Noconia była częściowo finansowana ze środków statutowych „Młody badacz”.

## **2. Charakterystyka rozprawy**

Rozprawa liczy 117 stron. Składa się z 6 rozdziałów, spisu ważniejszych oznaczeń, wykazu skrótów, załącznika, wykazu literatury obejmującego 82 pozycje, z których 15 stanowią odnośniki do stron internetowych (pozycje 68-82) oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Praca została wydana przez WMBM PŚ w 2017 r.

Przedmiotem rozprawy jest analiza algorytmów naprowadzania przeciwpancernego pocisku raketowego, które są uznawane za najbardziej efektywną i elastyczną broń w zwalczaniu czołgów i innych wozów bojowych przeciwnika na dużych odległościach. Autor zawarł w niej model matematyczny obiektu sterowania, którym jest przeciwpancerny pocisk kierowany (PPK), algorytmy sterowania PPK, model sterów aerodynamicznych, model zakłóceń zewnętrznych działających na pocisk, sposób doboru nastaw użytego do sterowania regulatora PID, linearyzację równań dynamiki lotu, analizę regulatora LQ oraz model z rozwiniętą aerodynamiką w układzie związanym z pociskiem.

Celem sterowania jest autonomiczne naprowadzanie PPK zgodnie z zaimplementowanym algorytmem na opancerzony obiekt przeciwnika w obecności zakłóceń i niepełnej informacji o zmiennych stanu oraz przy jednoczesnym wymaganiu dużej zwrotności PPK z uwagi na konieczność wykonywania manewrów mylących załogę obiektu, który się broni. Algorytm ma za zadanie wypracowanie zadanej (programowej) trajektorii lotu PPK. Sygnały sterujące regulatora realizującego ten algorytm powinny powodować jak najdokładniejsze odwzorowanie programowego lotu rzeczywistego PPK. Przy syntezie sterowania powinny być brane pod uwagę zakłócenia (podmuchy wiatru lub wybuchy pocisków), które zwykle towarzyszą lotowi PPK oraz błędy wynikające z szumu pomiarowego i systemowego, które występują w układzie sterowania. Pomimo tych czynników, lot PPK powinien odbywać się

według algorytmu zaimplementowanego w autopilocie. Zadaniem pilota jest realizacja algorytmu naprowadzania oraz wypracowanie sygnałów sterujących dla układu wykonawczego. Przedstawione wyżej problemy znalazły swoje odzwierciedlenie w poszczególnych rozdziałach rozprawy, których zawartość jest następująca.

W **rozdziale 1** dokonano krótkiego przeglądu historycznego rozwoju broni precyzyjnego rażenia oraz przedstawiono kolejne generacje PPK, a także cel pracy.

W **rozdziale 2** scharakteryzowano PPK jako obiekt sterowania, przedstawiono jego uproszczony model matematyczny (postępową i kulistą część ruchu oraz równania dynamiki), związki kinematyczne i własności geometryczno-masowe.

W **rozdziale 3** przeanalizowano 4 autorskie algorytmy sterowania PPK, przeprowadzono symulacje komputerowe tych algorytmów (wykorzystując uproszczone równania dynamiki lotu), porównano działanie tych algorytmów oraz wybrano jeden z nich do dalszej analizy.

**Rozdział 4** poświęcono rozszerzonej analizie algorytmu bazującego na funkcjach wielomianowych 3-go stopnia, modyfikacji układu wykonawczego sterowania hipotetycznym PPK, sterowaniu kierunkiem wektora ciągu i kątami wychylenia sterów aerodynamicznych, sformułowaniu uproszczonego modelu zakłócenia zewnętrznego w postaci wiatru i analizie regulatora LQ oraz symulacjom komputerowym.

W **rozdziale 5** wyprowadzono model PPK z rozwiniętą aerodynamiką w układzie związanym z pociskiem, w którym to modelu współczynniki zależą od liczby Macha, przeprowadzono analizę sił i momentów działających na PPK oraz przeanalizowano algorytm wykorzystujący funkcje wielomianowe w modelu złożonym.

W **rozdziale 6** zawarto podsumowanie i wnioski końcowe oraz zasygnalizowano kierunki dalszych badań.

Rozprawa dotyczy modelowania i symulacji komputerowych dynamiki PPK oraz sterowaniu jego lotem. W początkowym fazie budowy modelu Autor przyjmuje pewne założenia upraszczające, by w kolejnych fazach go urealnić. Następnie proponuje metody naprowadzania PPK:

- płaskotorową w systemie SACLOS,
- wykorzystującą funkcje trygonometryczne,
- stałego promienia,
- wykorzystującą funkcje wielomianowe.

Istota wyżej wymienionych metod polega na wyznaczeniu zadanych kątów lotu PPK. Do symulacji komputerowych przyjmuje parametry lekkiego PPK krótkiego zasięgu (do 5 km),

