

R E C E N Z J A

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Szmidta

p.t. „Analiza algorytmów sterowania zestawem artyleryjsko-rakietowym w warunkach oddziaływania zakłóceń zewnętrznych”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji było pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej dra hab. inż. Sławomira Błasiaka prof. PŚk. z dnia 14.07.2023 r. z propozycją opracowania, zgodnie z uchwałą Rady Naukowej z dnia 22.06.2023 r., recenzji rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra Szmidta pt. „Analiza algorytmów sterowania zestawem artyleryjsko-rakietowym w warunkach oddziaływania zakłóceń zewnętrznych”.

2. Uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji, przez mgr. inż. Piotra Szmidta, rozprawa doktorska ma charakter teoretyczno-projektowy i dotyczy bardzo aktualnej – z punktu widzenia potrzeb Wojska Polskiego – problematyki modernizacji uzbrojenia przeciwlotniczego okrętów RP.

Podstawowym celem rozważań Doktoranta było opracowanie i przebadanie, metodą symulacji komputerowej, modelu badawczego (opracowanego w środowisku CAD) hipotetycznego zestawu artyleryjsko-rakietowego opartego na eksploatowanym rozwiązaniu konstrukcyjnym ZU-23-2 MR znanego jako Wróbel II.

Podstawowymi metodami stosowanymi w warunkach krajowych, których wyniki znajdowały zastosowanie do oceny przyjętych w procesie projektowania środków bojowych (w tym przeciwlotniczych środków bojowych) oraz do modyfikacji tego typu

konstrukcji na drodze doboru odpowiednich wartości parametrów konstrukcyjnych, są bardzo kosztowne i wymagające dużych nakładów czasu pracy metody doświadczalne. Alternatywę metod eksperymentalnych mogą stanowić metody modelowania numerycznego oparte na modelach fizyczno-matematycznych, pozwalające na symulacje działania dużych zbiorów wariantów konstrukcyjnych rozpatrywanych obiektów technicznych. Istotną zaletą takiego podejścia jest możliwość zmian w trakcie badań, nawet w szerokim zakresie, zarówno struktury badanego modelu, jak również warunków zewnętrznych wpływających na jego działanie. Z uwagi na stosunkowo krótki czas w jakim obecnie realizowane są projekty z obszaru techniki uzbrojenia można przyjąć, że komputerowe metody numeryczne będą istotnym czynnikiem, decydującym w wielu przypadkach o sukcesie prowadzonych rozwojowych i modernizacyjnych prac badawczych.

Przedstawione uwarunkowania oraz potrzeby wynikające z realizacji niniejszej pracy jak i dotychczasowego doświadczenia zawodowego Doktoranta, stanowiły podstawę opracowania przedstawionej w rozprawie metodyki prowadzenia pracy badawczej modernizacyjnej o charakterze teoretycznym.

3. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji notatka z wykonanej rozprawy doktorskiej zawarta jest w sześciu częściach, na 125 stronach, z wyodrębnieniem: Spisu treści, Podsumowania oraz Wykazu literatury zawierającej 105 pozycji. Poszczególne części pracy stanowią ciąg logiczny. I tak w kolejnych częściach rozprawy zawarto:

- a) We Wstępie Autor przedstawił, na tle przeglądu aktualnej literatury z zakresu rozpatrywanej problematyki, rys historyczny rozwoju i zastosowania artylerii rozważanego rodzaju, metody stabilizacji układów artyleryjskich, genezę oraz podstawowy cel i tezę pracy.
- b) Części druga i trzecia poświęcone są problematyce modelowania, w środowisku CAD hipotetycznego zestawu artyleryjsko-rakietowego umożliwiającego określenie niezbędnych do dalszych analiz charakterystyk geometrycznych i charakterystyk masowo-bezwładnościowych rozważanego zestawu. Zaproponowany przez Autora model matematyczny dynamiki ruchu

zestawu został opracowany w wersji uproszczonej i w wersji rozszerzonej uwzględniającej wpływ działania kinematycznych zakłóceń zewnętrznych generowanych przez podstawę urządzenia. Opracowany model matematyczny stanowił podstawę do zbudowania oryginalnego modelu symulacyjnego stosowanego w dalszych badaniach.

- c) W ramach rozdziału czwartego przeprowadzono odwrotną analizę dynamiki rozpatrywanego urządzenia zawierającą przyjęty sposób modelowania zakłóceń zewnętrznych działających na zestaw, zależności matematyczne pozwalające na wyznaczanie trajektorii pocisków uwzględniających wpływ niektórych zakłóceń zewnętrznych oraz sposób oszacowania wpływu tych zakłóceń na skuteczność działania (celność) zestawu.
- d) Rozdziały piąty i szósty zawierają opisy proponowanych algorytmów sterowania zestawem artyleryjsko-rakietowym wykorzystujących sterowania oparte na regulatorach ślizgowych, regulatorze liniowo kwadratowym (LQR) oraz zaproponowanym przez Doktoranta regulatorze wykorzystującym dynamikę odwrotną. Przedstawiono także wyniki symulacji działania opracowanych algorytmów regulacji w przypadkach przechwycenia manewrującego celu w warunkach działania zakłóceń kinematycznych i dynamicznych. W tej części pracy zawarto także oryginalne rozwiązania filtracji sygnałów uzyskiwanych z optoelektronicznej głowicy skanująco-śledzącej w czasie rzeczywistym.

W zakończeniu rozprawy Doktorant dokonał podsumowania oraz sformułował trafne wnioski końcowe, wskazując jednocześnie w jakim kierunku, Jego zdaniem, powinna nastąpić ewentualna kontynuacja przyszłych badań w zakresie tematyki stanowiącej przedmiot badań rozprawy.

4. Rozważania ogólne dotyczące rozprawy

Mgr inż. Piotr Szmidt w przejrzysty sposób sformułował podstawowy cel i tezę rozprawy, który starał się konsekwentnie rozwiązywać w trakcie jej wykonywania.

Podstawowy cel pracy Doktorant sformułował w postaci: „Opracowanie modelu matematycznego hipotetycznego zestawu artyleryjsko-rakietowego wraz z analizą algorytmów jego sterowania do precyzyjnego śledzenia celu w warunkach oddziaływania zakłóceń losowych (kinematycznych) działających na podstawie zestawu”.

Model matematyczny przeznaczony do symulacji właściwości dynamicznych rozważanego hipotetycznego zestawu artyleryjsko-rakietowego został przez Autora sformułowany w dwóch wersjach tj.:

a) w wersji uproszczonej, w której przyjęto założenie, że podstawa zestawu nie przemieszcza się kątowno. To powoduje, że stabilizacja układu odbywa się w wyniku kompensacji ruchu zestawu w azymucie i w elewacji;

b) w wersji rozszerzonej, w której z kolei uwzględniono właściwości kinematyczne ruchu podstawy zestawu. To oznacza, że należało uwzględnić przemieszczanie się środków mas oraz energii kinetycznych i potencjalnych poszczególnych elementów układu wynikające z działających na zestaw zakłóceń.

Badania teoretyczne przeprowadzone w trakcie wykonywania pracy były ukierunkowane na potwierdzenie poprawności przyjętej tezy pracy sformułowanej w postaci: „Opracowane algorytmy sterowania zestawem artyleryjsko-rakietowym poprawią osiągi hipotetycznego zestawu artyleryjsko-rakietowego opartego o produkowany i używany w Polsce zestaw morski Wróbel II”.

Na uwagę zasługuje, zaproponowany przez Autora do sterowania zestawem, algorytm zmodyfikowanej dynamiki odwrotnej, który zapewnia stabilne i poprawne sterowanie oraz pozwala na eliminację wad charakterystycznych dla sterowania opartego np. o regulator ślizgowy (SMC) lub regulator liniowo-kwadratowy (LQR).

Zgodnie z założeniem Autora realizowana praca może być traktowana jako wstępny etap w pracach zmierzających do przygotowania modernizacji rozważanego układu artyleryjskiego w celu zwiększenia bezpieczeństwa użytkowania zestawu oraz zapewnienia możliwości autonomicznego wykrycia i śledzenia celu w warunkach oddziaływania zakłóceń fal morskich na ruch okrętu.

Przeprowadzone w ramach rozprawy symulacje numeryczne w celu sprawdzenia stabilności opracowanych algorytmów sterowania oparto o metodę wykorzystującą sygnał cosinusowy o narastającej kwadratowo częstotliwości i różnych amplitudach. Takie podejście umożliwiło Doktorantowi oszacowanie stabilności układu w stosunkowo krótkim czasie oraz z uwzględnieniem ograniczeń jaki musi spełnić sygnał wejściowy, aby sprawdzany układ nieliniowy był stabilny.

Przy ogólnej zdecydowanie pozytywnej ocenie pracy, chcę podkreślić również jej mankamenty do których można zaliczyć m.in. ograniczony (do zakłóceń kinematycznych i dynamicznych związanych z ruchem podstawy zestawu będącym skutkiem oddziaływania fal morskich) zbiór zakłóceń zewnętrznych wpływających na osiągi (celność) zestawu. W praktyce na skuteczność bojową zestawu ma wpływ obszerny zbiór zakłóceń zewnętrznych do których m.in. zalicza się: zakłócenia związane z błędami wykonania i montażu układu miotającego pociski, zakłócenia wywołane podrzutem i odrzutem układu miotającego w czasie wystrzałów, zakłócenia związane ze zmianami parametrów atmosfery, zakłócenia związane z odchyłkami współrzędnych celu i ich zmianami w czasie lotu pocisku itp.

Należy mieć na uwadze, że bardzo wartościowe wyniki zostały uzyskane w ramach wykonanej pracy wyłącznie metodą badań teoretycznych. Z tego względu powinny być one zweryfikowane (nawet częściowo) na podstawie wyników odpowiednio przygotowanych badań poligonowych strzelaniem.

5. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące rozprawy

Uwagi ogólne:

1. W Spisie treści tytuły rozdziałów są napisane dużą literą a w treści pracy małą.
2. Nie uwzględniono wpływu zakłóceń wywołanych wystrzałem.
3. W wielu przypadkach występują błędy stylistyczne ograniczające czytelność danych fragmentów rozprawy. Ma to miejsce m.in. na stronach: 12, 25, 41, 43, 48, 49, 74.
4. Występujące w treści rozprawy braki odwołania do literatury sugerują, że podawane informacje należy przypisać Autorowi.
5. Str. 27 – Szybkostrzelność broni nie określa się liczbą naboju na minutę lecz liczbą wystrzelonych pocisków na minutę!

Uwagi szczegółowe:

1. Niejednoznaczność oznaczeń wielkości będących wektorami – str. str.: 7, 9, 10, 38, 43, 46, 47, 52.
2. Niewłaściwe użycie pojęcia ilość – powinno być liczba – str. str.: 7, 28, 34.
3. Błędne sformułowania - str. str.: 12 – ...w czasach zupełnie współczesnych...; 21 - ...zmniejszenie ruchu wieżyczki działa..., 81, 98 - ... przy pomocy..., 81 - ...zazumione....
4. Str. 16 – brak odwołania do rysunku 1.8; str. 18 – brak odwołania do rys. 1.9.
5. Błędy redakcyjne: str. str. 21, 28, 30, 37, 76, 77, 82.
6. Str. 12 – Niewłaściwa nazwa Z.M. Mesko S.A.
7. Str. 38 – jak należy rozumieć pojęcie - siła zastępczego ciężenia?
8. Str. 44 – Jak należy rozumieć pojęcie – model rozbudowany – wcześniej używano pojęcia model rozszerzony?
9. Str. 44 – który układ współrzędnych przyjęto za inercjalny i dlaczego?
10. Str. 44 i 45 nie zdefiniowano kątów: $\tau_x, \tau_z, \theta_1, \theta_2$,
11. Str. 46 – prędkości kątowe $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - jakich kątów dotyczą?
12. Str. 46 – Lagrangian jest wyrażony równaniem (3.14) , a nie (3.13) jak podaje Autor!
13. Niepoprawne wzory (3.21) i (3.22) – za dużo nawiasów
14. Str. 48 – co kryje się pod pojęciem – układ okrętu oraz układ azymutu i elewacji zestawu?
15. Str. 49 – jak należy rozumieć wstępne symulacje?
16. Str. 63 – jest $\psi_A = 30^0$ - powinno być - $\psi_B = 30^0$.
17. Str. 66 – Nieczytelnie opisany rys. 4.8 – który z pokazanych układów współrzędnych jest ruchomy, a który nieruchomy?.
18. Str. 68 - mało precyzyjne wyjaśnienie pojęcia „chybienie”.
19. Str. 67 i 68 – stosowanie tego samego oznaczenia dla różnych wielkości np.

n – liczba naboju i n - chybiecie pod cel.

20. Str. 68 - $|OB|, |AB|, |BC|$ - oznaczenia sugerują, że to jest wartość bezwzględna

wielkości – może powinno być: $\overline{OB}, \overline{AB}, \overline{BC}$.

21. Str. 70 – Błędnie opisany rys. 4.13.

22. Str. 71 – Brak informacji w tekście podrozdziału 4.3. na jakiej podstawie zostały sformułowane wnioski zawarte na końcu tego podrozdziału.

23. Str. 71 – Co oznacza – prędkość i wartość położenia kąta azymutu?

Stwierdzam, że przedstawione wyżej uwagi nie wpływają w znaczący sposób na wartość wykonanej przez mgr. inż. Piotra Szmidta pracy.

6. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawę można potraktować jako ważne autorskie osiągnięcie przedstawiające model CAD hipotetycznego zestawu artyleryjsko-rakietowego wraz z wynikami badań symulacyjnych modelu oraz propozycjami możliwych zmian w konstrukcji eksploatowanego aktualnie zestawu ZU-23-2 Wróbel II. Za nowe podejście, w skali kraju, do rozważanej problematyki można uznać opracowanie i przebadanie algorytmu filtra dolnoprzepustowego umożliwiającego filtrację sygnału z głowicy skanująco-śledzącej układu i innych wielkości w czasie rzeczywistym. Można to uznać za istotne osiągnięcie autorskie, gdyż stosowane filtry dolnoprzepustowe drugiego rzędu (np. Butterwortha czy Kalmana) powodowały nadmierne opóźnienie sygnału wejściowego, co ma bardzo istotne znaczenie w przypadku przedmiotowego zestawu artyleryjsko-rakietowego. Wyniki przeprowadzonych w ramach wykonanej pracy badań wykazały, że możliwe jest polepszenie osiągnięć taktyczno-technicznych (np. celności) rozpatrywanej klasy zestawów, co można uznać za potwierdzenie poprawności tezy postawionej na wstępie rozprawy.

Podsumowując rozprawę stwierdzam, że jej temat jest aktualny i rozwojowy. Postawione cele pracy zostały osiągnięte. Analizy wyników badań symulacyjnych zostały przeprowadzone poprawnie, a ich interpretacje są prawidłowe. Stwierdzam, że problematyka rozprawy mieści się w dyscyplinie **inżynieria mechaniczna**.

Zgadzam się z Autorem , że dalsze badania w zakresie rozważanej problematyki powinny być ukierunkowane głównie na określenie czy uzasadniona jest modernizacja eksploatowanego zestawu ZU-23-2 MR Wróbel II, czy też opracowanie nowej konstrukcji tego typu zestawu. Innym kierunkiem badań mogłaby być analiza możliwości zastosowania proponowanych przez Autora rozwiązań do wykorzystania w podobnych zestawach zabudowanych na pojazdach eksploatowanych przez Wojska Lądowe.

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską przez mgra inż. Piotra Szmidta oceniam bardzo pozytywnie, gdyż zawiera elementy nowatorskie oraz posiada elementy poznawcze. Poza tym praca świadczy o dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora, który wykazał się nie tylko obszerną wiedzą z zakresu modelowania dynamiki układów, metod symulacyjnych oraz programowania, ale również umiejętnością formułowania złożonych zagadnień naukowych oraz realizacji ich rozwiązań.

Biorąc pod uwagę powyższe oraz wysoki poziom merytoryczny i edytorski pracy uważam, że jej Wykonawca w pełni zasługuje na wyróżnienie.

Reasumując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązującą Ustawę o tytule i stopniach naukowych.

Poziom naukowy potwierdza, że rozprawa zasługuje na dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Pytania do Autora rozprawy:

1. Jakie podstawowe grupy zakłóceń mogą mieć wpływ na funkcjonowanie zestawu rozpatrywanego w pracy.?
2. Jakie podstawowe czynniki wpływają na skuteczność (celność) zestawu artyleryjsko-rakietowego krótkiego zasięgu?



