

Warszawa, 19.12.2019

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

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Janusza Nogi

pt.: *Badania modułu kierowania rakiety wirującej z elektrycznym napędem sterów*

wykonanej w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych

promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Żyłuk

promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Motyl

1. Wprowadzenie - wybór tematu, cel i zakres pracy

Rozwój uzbrojenia raketowego jest ważnym aspektem osiągnięcia zdolności bojowej nowoczesnej armii. Jest on niezbędny w celu zwiększenia bezpieczeństwa naszych granic. W kontekście realizacji programu modernizacji Sił Zbrojnych RP w obszarze precyzyjnego rażenia podjęta w recenzowanej rozprawie doktorskiej problematyka modernizacji pocisku raketowego Grom, będącego na wyposażeniu Wojska Polskiego, jest jak najbardziej aktualna i kluczowa dla skutecznej rozbudowy dolnej partii obrony przeciwlotniczej skupionej na ręcznych zestawach raketowych.

Przenośny przeciwlotniczy zestaw raketowy, którego pocisk Grom jest podstawowym elementem, został opracowany od podstaw w Polsce i od 2000 roku jest produkowany przez przedsiębiorstwa krajowego przemysłu obronnego. Odbiorcą tego nowoczesnego produktu jest Wojsko Polskie oraz, w mniejszej ilości, jest on przedmiotem eksportu do kilku krajów. W analizowanym w recenzowanej pracy pocisku Grom-M funkcję autonomicznego i automatycznego naprowadzania na cel do chwili trafienia realizuje, na podstawie sygnałów generowanych przez głowicę samonaprowadzającą, modernizowany przez Doktoranta blok

sterów z elektrycznym proporcjonalnym wychyleniem sterów, który jest elementem wykonawczym bloku kierowania pocisku.

Autor dysertacji postawił przed sobą ambitny cel, którym było „wykazanie przydatności i zalet zaprojektowanego i wykonanego przedziału sterowania z elektrycznym proporcjonalnym wychyleniem sterów w pocisku Grom, a w szczególności:

- wytworzenie przedziału sterów, który zapewni zwiększenie strefy rażenia zestawu przeciwlotniczego Grom-M, poprawiając jednocześnie dokładność naprowadzania pocisku na cel oraz zwiększenie jego zasięgu;
- porównanie sterowania jednokanałowego opartego na sterach przerzutowych ze sterowaniem proporcjonalnym, polegającym na płynnym wychyleniu się sterów w odpowiednim kierunku w zależności od potrzebnej wartości siły sterującej,
- wykazanie konkurencyjności sterowania elektrycznego proporcjonalnego ze względu na jego właściwości użytkowe, prostotę rozwiązania technicznego oraz zapotrzebowania na moc elektryczną z pokładowego źródła zasilania pocisku.”

Doktorant wykorzystał do zaprojektowania i wykonania innowacyjnego modułu sterów z napędem elektrycznym najnowsze rozwiązania w zakresie miniaturowych silników elektrycznych oraz baterii chemicznych jako źródła zasilania. W celu zbadania własności elektromechanicznych nowego bloku sterów z elektrycznym proporcjonalnym wychyleniem sterów opracował i wykonał stanowiska badawcze do oceny demonstratora bloku sterowania. Przeprowadzone badania laboratoryjne i poligonowe modułu sterowania z elektrycznym napędem sterów wykazały celowość kontynuacji badań w kierunku opracowania prototypu pocisku przeciwlotniczego do szeroko zaplanowanych badań poligonowych, przed wdrożeniem opracowanego rozwiązania do praktyki.

2. Omówienie treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska obejmuje 137 stron tekstu, który został podzielony na 9 rozdziałów (w tym wstęp, podsumowanie i wnioski, literatura) i poprzedzony wykazem ważniejszych oznaczeń, indeksów i skrótów. Do pracy dołączono dwa rozbudowane załączniki o łącznej objętości 183 stron, w których zamieszczono wykresy (załącznik A) i tabele (załącznik B) wyników badań wpływu elementów konstrukcji modelu wyrobu GROM-M na jego charakterystyki aerodynamiczne.

Merytorycznie praca podzielona została na trzy części (teoretyczną, konstrukcyjno-technologiczną i eksperymentalną) poprzedzone wstępem, w którym Autor określił cel, tezę i zakres zrealizowanych prac oraz podjął dyskusję aktualności prezentowanej tematyki.

Pierwsza część pracy obejmuje rozdziały 2 i 3. W rozdziale drugim Autor dokonał obszernej analizy przenośnych przeciwlotniczych zestawów raketowych bliskiego zasięgu, zwracając szczególną uwagę na wykorzystywane w nich systemy sterowania, rodzaje napędów sterów oraz stosowane metody naprowadzania. W kolejnych podrozdziałach omówione zostały rosyjskie zestawy raketowe *Strzała* i *Igła*, stanowiący meritum pracy polski zestaw *Grom*, a także francuski *Mistral*, angielski *Javelin*, amerykański *Stinger* i szwedzki RBS-70. W rozdziale trzecim omówione zostały najczęściej stosowane systemy sterowania przeciwlotniczymi wirującymi pociskami raketowymi. Autor opisał ideę i przeprowadził analizę teoretyczną jednokanałowego systemu sterowania przerzutowego oraz na przykładzie pocisku przeciwlotniczego *Strzała* przytoczył jego rozwiązanie techniczne. Dokonał również porównania systemów jedno i dwukanałowych. W rozdziale tym Autor wyjaśnił też ideę jednokanałowego sterowania proporcjonalnego oraz wskazał jego wady, zalety i obszary zastosowań oraz określił ilościowe różnice między sterowaniem proporcjonalnym i przerzutowym.

Druga część pracy (konstrukcyjno-technologiczna) obejmuje rozdziały 4 i 5. W rozdziale czwartym Autor przeprowadził analizę i optymalizację rozwiązań technicznych i konstrukcyjnych przedziału sterowania z elektrycznym proporcjonalnym wychyleniem sterów. Pokrótkę opisał koncepcję i etapy projektowania bloku sterowania z elektrycznym napędem sterów oraz dokonał porównania bloków sterowania pneumatycznego i elektrycznego. Następnie opracowane zostały wymagania dla bloku sterowania gazodynamicznego zastosowanego w pierwszej fazie lotu pocisku. W celu uzasadnienia wyboru przyjętego kierunku badań Autor dokonał analizy istniejących wersji rozwiązań technicznych urządzeń aero- i gazodynamicznego sterowania. W kolejnym podrozdziale opisano założenia taktyczno-techniczne niezbędne do opracowania bloku sterów z napędem hybrydowym połączonego z aerodynamicznym i gazodynamicznym sterowaniem. Po kolei wypunktowano wymagania taktyczno-techniczne (podrozdział 4.3.1), a następnie wymagania dotyczące: sposobu zabezpieczenia (podrozdział 4.3.2), surowców, materiałów i akcesoriów (podrozdział 4.3.3), konserwacji, opakowania i oznakowania (podrozdział 4.3.4) oraz wymagania specjalne (podrozdział 4.3.5). Uwagę zwraca brak zachowanych proporcji między długością podrozdziałów - cztery ostatnie mieszczą się na jednej stronie tekstu! Sugerowałabym zastanowienie się nad celowością takiego układu.

W rozdziale piątym przedstawiono model matematyczny i metody kontroli parametrów bloku sterowania z napędem elektrycznym. W kolejnych podrozdziałach Autor opisał podstawowe parametry bloku sterowania wymagane do automatycznej ich kontroli, przedstawił projekt aparatury do kontroli parametrów użytkowych elektrycznego bloku sterowania oraz zaprezentował proces modelowania matematycznego bloku sterowania z napędem elektrycznym do oceny konwergencji parametrów w produkcji seryjnej. Omówiony został proces wyboru parametrów bloku sterowania. Przedstawiono schemat funkcjonalny, model matematyczny oraz parametry elektrycznego bloku sterowania uzyskane na podstawie modelowania matematycznego.

Trzecia część pracy jest częścią eksperymentalną. Autor zawarł w niej wyniki kompleksowych badań właściwości przedziału sterów modernizowanej rakiety. W rozdziale szóstym opisane zostały doświadczalne badania charakterystyk aerodynamicznych modelu rakiety przeprowadzone w tunelu aerodynamicznym T-6 HAI. Należy zwrócić uwagę, że w tekście pracy ograniczono się do omówienia charakterystycznych wyników badań, natomiast wykresy i tabele obrazujące całokształt przeprowadzonych testów (również tych nieomówionych w pracy) zostały zawarte w załącznikach A i B.

Meritum pracy stanowi rozdział siódmy, w którym Autor zaprezentował badania doświadczalne i poligonowe demonstratora bloku sterowania z elektrycznym proporcjonalnym wychylaniem sterów. Rozdział ten składa się z pięciu podrozdziałów, w których zaprezentowano kolejno prowadzone badania. W pierwszym podrozdziale Autor przybliżył badania demonstratora na stanowisku kontroli parametrów SKPM-1, których celem była ocena rozwiązania konstrukcyjnego hybrydowego bloku sterów. W podrozdziale drugim Autor zaprezentował program badań elektromechanicznego modelu bloku sterów, których celem było sprawdzenie poprawności funkcjonowania układu sterowania gazodynamicznego od prochowego silnika sterującego, sprawdzenie czasu osiągnięcia parametrów pracy przez baterie BTR-07, sprawdzenie poprawności funkcjonowania bloku sterów przy zasilaniu baterią BTR-07 oraz sprawdzenie poprawności funkcjonowania przedziału kierowania w momencie startu rakiety i wyjścia z wyrzutni. Podrozdział trzeci dotyczy badań poligonowych ze strzelaniem rakiety Grom-M wyposażonej w hybrydowy blok sterów z elektrycznym proporcjonalnym wychyleniem sterów, z przedziałem telemetrycznym, zaelaborowanej w etatowej wyrzutni. W podrozdziale czwartym Autor przedstawił badania przedziału kierowania z demonstratorem bloku sterów, a w podrozdziale piątym badania poligonowe przeciwlotniczego pocisku raketowego Grom-M z demonstratorem bloku sterów z elektrycznym napędem.

Podsumowanie prowadzonych badań Autor zawarł w rozdziale ósmym, w którym w kolejnych podrozdziałach przeprowadził analizę i ocenę wyników badań połączoną z weryfikacją technologii wykonania i konstrukcji przedziału sterowania oraz analizę układu rozdzielacza PSS bloku sterów. Podsumowanie całości pracy stanowi ostatni podrozdział zatytułowany „Wnioski końcowe”.

Literatura jest jednocześnie ostatnim rozdziałem recenzowanej dysertacji. Obejmuje ona 43 pozycje bibliograficzne umieszczone w kolejności występowania w tekście, w tym 6 jest współautorstwa Doktoranta. Jak na rozprawę doktorską spis literatury nie jest obszerny, jednak jest to zgodne ze specyfiką recenzowanej pracy wynikającą z militarnego charakteru realizowanych badań.

Reasumując, praca stanowi logiczną, spójną całość. Zakres wykonanych przez Autora badań i analiz jest wystarczający dla uzasadnienia postawionego celu pracy. Przyjęto odpowiednie metody badawcze. Temat pracy ściśle odpowiada zawartej w niej treści. Dysertacja została przygotowana w estetyczny sposób. Niedociągnięcia i błędy, które dostrzegłam podczas jej lektury, wraz z nasuwającymi się pytaniami przedstawiam poniżej.

3. Uwagi krytyczne

W pracy zauważyłam pewne niedociągnięcia i nieścisłości oraz w kilku miejscach błędy edytorskie i językowe. Najważniejsze z nich to:

- Uważam, iż zaburzone są proporcje wstęp – reszta pracy, a także w niektórych miejscach (zwłaszcza w rozdziałach 4.3, 7.1) proporcje między długością podrozdziałów. Wstęp jest zbyt rozbudowany – zaliczyłabym do niego również niemalże całą pierwszą część dysertacji. Autor niepotrzebnie skupił się na szczegółowej analizie zestawów raketowych, poczynając od rakiet I generacji. Można było ją ograniczyć do zestawu Grom i wniosków kończących pierwszy rozdział, ponieważ poza podstawowymi informacjami wywód ten niewiele wnosi do meritum pracy.
- Podział na elementy bezpośrednio zrealizowane przez Doktoranta oraz te, które wynikają z prac zespołu powinien być bardziej czytelny. Jak sam Autor wspomina „całość projektu realizowana była przez duży zespół badawczy i produkcyjny z WAT i MESKO S.A.”, którym Autor kierował. Niestety brak jest w pracy rozgraniczenia i wskazania np. procentowego udziału Doktoranta w prowadzonych badaniach.

- W analizowanych źródłach literaturowych warto byłoby zwrócić baczniejszą uwagę na źródła anglojęzyczne. Sugerowałabym również nie powoływać się w pracach naukowych na Wikipedię – to nie jest sprawdzone źródło w nauce.
- W treści pracy zdarza się, że analiza literatury przeprowadzana jest bez powołań na konkretne pozycje. Pojawiają się stwierdzenia: „w niektórych opracowaniach technicznych można znaleźć...” (str. 49), „analiza materiałów uzyskanych w wyniku wyszukiwania informacji patentowych wykazuje...” (str. 66), „z wyników analizy literatury naukowo-technicznej wynika...” (str. 67) itd., które nie są potwierdzone źródłami literaturowymi.
- Mankamentem powtarzającym się w pracy jest brak jednostek w opisywanych wielkościach fizycznych co utrudnia ich interpretację.
- Str. 6, 7: wykaz ważniejszych oznaczeń, indeksów i skrótów nie został wykonany starannie i jest przez to mało przydatny w trakcie lektury dysertacji.
- Str. 28: temperatura skraplania azotu jest równa -196°C (błąd w tekście).
- Str. 45 i 49: przy analizie rzutów wektora siły sterującej uważam, że wygodniej i bardziej czytelnie byłoby wykonać rysunek zamiast opisywać usytuowanie osi przyjętego układu odniesienia.
- Str. 63 i 94: pomyłona w tekście pracy numeracja jej części.
- Str. 72, 73, 75: nazwa własna pocisku/zestawu Grom pisana jest bez lub w cudzysłowie – warto byłoby ten zapis ujednoczyć.
- Str. 78: brak uzasadnienia lub podania danych źródłowych stwierdzeń: „Charakterystyka siłowa elektrycznego bloku sterowania wskazuje, że jego moment obrotowy na osi steru ma tendencję do nasycenia.”, „Na podstawie tych charakterystyk [amplitudowych i fazowo-częstotliwościowych] można stwierdzić...”, „Z analizy procesów przejściowych wynika, że...”.
- Str. 83: czy na pewno wzór (5.2) zapisany jest poprawnie? Czy zgadzają się jednostki?
- Str. 84: błędny podpis pod rys. 5.2 – co jest na osi odciętych?
- Str. 88: model matematyczny elektrycznego bloku sterowania zapisany w postaci ciągu wzorów bez ich merytorycznego omówienia jest mało czytelny. Proszę o wyjaśnienie sposobu wykorzystania tego modelu przy doborze parametrów użytkowych oraz przy analizie jakości działania elektrycznego bloku sterowania.
- Str. 91-93: brak dostatecznego wytłumaczenia słuszności sformułowanych wniosków i wymagań dotyczących bloku sterowania. Powinny one być wynikiem dyskusji

podsumowującej prowadzone badania, tak aby jasne było na jakiej podstawie wnioski te zostały sformułowane. W trakcie obrony proszę przeprowadzić dyskusję sformułowanych wymagań elektrycznego bloku sterowania.

- Str. 100: błąd w tekście. Zamiast: rysunki 86 ... 120 (załącznik 2.2) powinno być rysunki 41 -80 (załącznik A).
- Str. 117: błąd w tekście. Zamiast: w kolumnie 4 tabeli 8.5 powinno być tabeli 7.5.
- Str. 131, 132: tabele 8.1 i 8.2 są mało czytelne.
- Załącznik A: błędne opisy wykresów. Zamiast: zależność siły oporu, siły nośnej itd. powinno być: zależność współczynnika siły oporu, współczynnika siły nośnej.
- Załącznik B: brak w pracy odniesień do tego załącznika. Co Autor miał na celu włączając go do dysertacji?

Wymienione uchybienia nie mają zasadniczego wpływu na ostateczną wartość rozprawy oraz na moją ogólną ocenę na jej temat. W zakresie merytorycznej oceny rozprawy można uznać, że teza pracy została udowodniona, a założony cel został zrealizowany.

4. Podsumowanie

Opiniowana rozprawa mgr inż. Janusza Nogi dotyczy niezmiernie ważnych i aktualnych problemów współczesnej techniki wojskowej. Jest to interesujące dzieło, którego wyniki są wykorzystywane w modernizacji jednego ze sztandarowych wyrobów dla „Polskiego Żołnierza Przyszłości”.

Rozprawa ma charakter konstrukcyjno-eksperymentalny, gdzie zrealizowano pełny cykl badawczo-rozwojowy, zaczynając od projektu modułu sterów do konkretnego pocisku raketowego i zamykając cykl badaniami demonstratora technologii w warunkach poligonowych. Na podkreślenie zasługuje wysoki poziom aplikacyjności wyników badawczych rozprawy. Zaprojektowany, wykonany i przebadany w laboratorium oraz w dynamicznych badaniach poligonowych demonstrator bloku sterów z elektrycznym napędem, spełnia podstawowe kryteria do wykorzystania w badaniach prototypu pocisku przeciwlotniczego według kryteriów obowiązujących w systemie odbioru wojskowego.

Autor w trakcie realizacji niniejszej pracy wykazał się umiejętnością analizy problemów technicznych oraz samodzielnością w ich rozwiązywaniu wykorzystując posiadaną bogatą wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie budowy i eksploatacji pocisków przeciwlotniczych

klasy MANPADS. Uważam, że rezultaty naukowe rozprawy stanowią poważny wkład w modernizację przeciwlotniczych rakiet wirujących.

Na podstawie powyższych uzasadnień wyrażam opinię, że rozprawa doktorska pt.: *Badania modułu kierowania rakiety wirującej z elektrycznym napędem sterów*, której Autorem jest mgr inż. Janusz Noga spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez aktualnie obowiązującą *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789). Stawiam wniosek o **przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Janusza Nogi do jej publicznej obrony.**

E. Gadyński