

Prof. dr hab. inż. Józef GACEK
Wojskowa Akademia Techniczna
Ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa

Warszawa, 06 grudnia 2019 r.

R E C E N Z J A

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Janusza NOGI

p.t. „Badanie modułu rakiety wirującej z elektrycznym napędem sterów”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą niniejszej recenzji jest pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL) prof. dr. hab. inż. Józefa ŻURKA z dnia 07 października 2019 r. informującego o powołaniu mnie przez Radę Naukową ITWL, Uchwałą z dnia 24.09.2019 r., w skład Komisji przewodu doktorskiego, w charakterze recenzenta, w postępowaniu o nadanie mgr. inż. Januszowi NODZE doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

2. Uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji, przez mgr. inż. Janusza NOGĘ, rozprawa doktorska ma charakter doświadczalno-teoretyczny i dotyczy bardzo aktualnej, z punktu widzenia aktualnych potrzeb obronności kraju, problematyki dotyczącej modernizacji uzbrojenia przeciwlotniczego pododdziałów i oddziałów Wojska Polskiego.

Podstawowym celem rozważań Doktoranta było opracowanie, wykonanie oraz przebadanie w warunkach laboratoryjnych i poligonowych nowatorskiego bloku sterowania z elektrycznym proporcjonalnym wychylaniem sterów przewidywanego do zastosowania w wirującej rakiecie przeciwlotniczej bardzo krótkiego zasięgu typu Grom M.

Z uwagi na niejawnosc tematyki rozpatrywanej w ramach pracy, wynikajacej glownie z zastosowania militarnego wynikow badan, w dostepnej literaturze brak jest wyczerpujacych informacji z zakresu konstrukcji, funkcjonowania oraz uzycia bojowego bardzo skomplikowanych oraz opartych na nowoczesnych osiagnieciach naukowo-technicznych, rozważanego typu srodkow bojowych. Stad tez wynikla potrzeba prowadzenia wlasnych prac badawczych w tym zakresie.

Podstawowymi metodami stosowanymi w warunkach krajowych, ktorzych wyniki znajdowaly zastosowanie do oceny przyjetych w procesie projektowania srodkow bojowych (w tym takze rozpatrywanego rodzaju rakiet przeciwlotniczych) oraz do modyfikacji ich konstrukcji na drodze doboru odpowiednich wartosci parametrów konstrukcyjnych sa, bardzo kosztowne i wymagajace duzych nakladow czasu pracy i kosztow, metody doswiadczone.

Alternatywe metod eksperymentalnych moga stanowic metody modelowania numerycznego oparte na modelach fizyczno-matematycznych, umozliwiajace symulacje dzialania duzych zbiorow wariantow konstrukcyjnych rozpatrywanych obiektow technicznych i ich podstawowych zespolow. Istotna zaleta takiego podejscia jest mozliwosc zmian w trakcie badan, nawet w szerokim zakresie zarowno struktury badanych modeli, jak rowniez warunkow zewnetrznych wplywajacych na ich dzialanie. Z uwagi na coraz ostrzejsze ograniczenia czasowe jakim podlegaja obecnie realizowane projekty z obszaru techniki uzbrojenia mozna przyjac, ze komputerowe metody numeryczne beda istotnym czynnikiem, decydujacy w wielu przypadkach o sukcesie prowadzonych rozwojowych prac badawczych.

Przedstawione uwarunkowania oraz potrzeby wynikajace z realizacji niniejszej pracy stanowily podstawe do zastosowania przez Autora rozprawy eksperymentalno-numerycznej metodyki badan.

3. Krótka charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji notatka z wykonanej rozprawy doktorskiej zredagowana jest na 137 stronach i zawiera trzy zasadnicze czesci z wyodrebnieniem Wstepu, Wnioskow koncowych, Spisu tresci, Wykazu wazniejszych oznaczen, indeksow i skrotow oraz Bibliografii zawierajacej 43

pozycje. Integralną część rozprawy stanowią Załączniki (Załącznik A - 67 stron oraz Załącznik B - 116 stron) zawierające obszerne zbiory wyników badań wpływu elementów konstrukcji modelu badawczego wyrobu Grom-M na jego charakterystyki aerodynamiczne.

Poszczególne części i rozdziały pracy stanowią ciąg logiczny. To oznacza, że w kolejnych częściach rozprawy przedstawiono:

- a) We Wstępie Autor przedstawił genezę, podstawowy cel oraz tezę pracy, którą sformułował następująco „Zwiększenie strefy rażenia i poprawa dokładności naprowadzania pocisku raketowego na cel termiczny są możliwe przez implementację bloku sterowania z elektrycznym proporcjonalnym wychyleniem sterów w pocisku przeciwlotniczym GROM”;
- b) Część pierwsza zawiera analizę teoretyczną opartą o przegląd literatury z zakresu rozpatrywanej dziedziny techniki, a w szczególności analizę konstrukcyjną aktualnie eksploatowanych zestawów przeciwlotniczych bardzo krótkiego zasięgu, ze szczególnym zwróceniem uwagi na systemy sterowania i naprowadzania oraz stosowane w tym celu układy wykonawcze;
- c) W części drugiej, którą Autor traktuje jako konstrukcyjno-technologiczną przedstawiona jest próba optymalizacji rozwiązania konstrukcyjnego przedziału sterowania rakiety Grom-M z elektrycznym proporcjonalnym wychylaniem sterów oraz zaproponowany, w mało przejrzysty sposób, model matematyczny funkcjonowania tego przedziału;
- d) Treścią części trzeciej rozprawy są opisy badań laboratoryjnych przeprowadzonych w celu określenia właściwości elektromechanicznych modelu zaproponowanego przez Autora przedziału sterów z napędem elektrycznym oraz badań eksperymentalnych w locie pocisku GROM-M z nowym elektrycznym napędem sterów;
- e) Rozprawę zakończono podsumowaniem i zbiorem wniosków mogących znaleźć zastosowanie w pracach rozwojowych rakiety przeciwlotniczej bardzo krótkiego zasięgu GROM-M ukierunkowanych na zwiększenie jej strefy rażenia.

4. Rozważania dotyczące rozprawy

Mgr inż. Janusz NOGA w przejrzysty sposób sformułował podstawowy cel rozprawy, który starał się konsekwentnie rozwiązywać w trakcie jej wykonywania.

Do oryginalnych osiągnięć Autora rozprawy należy przede wszystkim zaliczyć:

- a) Opracowanie, wykonanie i przeprowadzenie laboratoryjnych oraz poligonowych badań dynamicznych zaproponowanego nowatorskiego bloku sterów w celu weryfikacji przyjętych założeń,
- b) Sprawdzenie, metodą eksperymentalnych badań laboratoryjnych oraz badań poligonowych strzelaniem, funkcjonowania nowego bloku sterów w istniejącej rakiecie przeciwlotniczej bardzo krótkiego zasięgu Grom-M,
- c) Opracowanie, zestawienie i sprawdzenie możliwości wykorzystania zestawów diagnostycznych przeznaczonych do identyfikacji charakterystyk eksploatacyjnych zaproponowanego bloku sterowania z elektrycznym proporcjonalnym wychylaniem sterów.

Proces opracowania projektu bloku sterowania z elektrycznym proporcjonalnym elektrycznym napędem sterów podzielony został na cztery etapy w ramach których kolejno: przyjęto zbiór wymagań technicznych i koncepcję opracowywanego bloku, określono doświadczalnie niezbędne charakterystyki aerodynamiczne modelu badawczego rozpatrywanej rakiety przeciwlotniczej, wykonano model badawczy serwomechanizmu i stanowisko, na którym przeprowadzono badania w celu weryfikacji poprawności założonych parametrów technicznych oraz wykonano modele materialne opracowanego bloku sterów przeznaczonego do przeprowadzenia badań laboratoryjnych i poligonowych. Badania wykonano dla bloku sterów usytuowanego w rakiecie Grom-M.

Autor rozprawy zaproponował zastosowanie w rakiecie GROM oryginalnej konstrukcji hybrydowego napędu sterów typu AGDS w skład którego wchodzi: napęd elektryczny sterów aerodynamicznych PE-MP-1 oraz napęd oparty o silniczek prochowy PSS. Napęd hybrydowy realizuje funkcje zarówno gazodynamicznego jak również aerodynamicznego sterowania rakieta. W przypadku proponowanego napędu sterowanie gazodynamiczne odbywa się w czasie 0,7 s od chwili startu, po czym sterowanie realizuje układ z napędem elektrycznym. Zastosowanie

w rakiecie Grom zaproponowanego przez Autora hybrydowego bloku sterowania eliminuje potrzebę stosowania prochowego akumulatora ciśnienia wraz z turbogeneratorem, stanowiącym pokładowe źródło zasilania aparatury rakiety.

Część czwarta, którą Autor pracy określił jako część eksperymentalną zawiera wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych w naddźwiękowym tunelu aerodynamicznym w celu określenia wpływu elementów konstrukcji różnych konfiguracji opracowanego modelu badawczego rakiety Grom na jego podstawowe charakterystyki aerodynamiczne t.j.: współczynniki aerodynamicznej siły: oporu czołowego c_x , siły nośnej c_y , siły bocznej c_z , aerodynamicznego momentu przechylającego m_x , odchylającego m_y oraz pochylającego m_z . Badania aerodynamiczne przeprowadzono zarówno dla tzw. „izolowanych części” rakiety Grom, jak również z uwzględnieniem interferencji poszczególnych elementów składowych, np. korpusu i powierzchni nośnych.

W ramach przeprowadzonych badań eksperymentalnych wykonano także badania demonstratora bloku sterów z elektrycznym proporcjonalnym wychyleniem sterów, w tym poligonowe badania dynamiczne. Przeprowadzone badania laboratoryjne oraz badania strzelaniem wykazały poprawne działanie zaproponowanego przez Autora hybrydowego napędu sterów rakiety zarówno na początkowym jak i dalszych odcinkach toru. Wyniki pomiarów telemetrycznych wykazały, że rakietę wyposażoną w proponowany przez Autora rozprawy układ napędu sterów osiągnęła wzrost prędkości w zakresie (50÷65) m/s, co oznacza wzrost o około 10% w porównaniu z prędkością pocisku raketowego standardowego. Wzrost prędkości rakiety skutkuje zwiększeniem strefy rażenia rakiety. Poza tym zastąpienie sterowania przerzutowego w rakiecie Grom blokiem sterowania z elektrycznym wychyleniem sterów ma wiele zalet w zakresie poprawy osiągnięć bojowych rakiety (np. zwiększenie strefy rażenia), zapotrzebowania na energię elektryczną oraz niezawodności działania.

5. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące rozprawy

Uwagi ogólne:

1. Str. 12 ÷ 43 zbyt obszerny opis dotyczący przeglądu istniejących raketowych zestawów przeciwlotniczych bardzo krótkiego zasięgu zawierający wiele zbędnych informacji szczegółowych.
2. Występujące błędy stylistyczne w określony sposób ograniczają czytelność danych fragmentów rozprawy. Ma to miejsce m.in. na str.: 15, 20, 25, 31, 43, 45, 47, 50, 52, 66, 91, 115, 127, 130.
3. Str. 44÷47 mało zrozumiały oraz skomplikowany opis zasady wykorzystywanej do sterowania przeciwlotniczym pociskiem raketowym.
4. Str. 49 - brak rysunku ilustrującego zastosowany układ współrzędnych Oxyz i wielkości D , ε , φ_1 i H oraz brak odwołania do Bibliografii utrudnia czytelność wzorów (3.2) i (3.3) oraz zaproponowanego modelu matematycznego elektrycznego bloku sterowania rakiety Grom (5.9÷5.36).
5. Przedstawiony na stronach 88 ÷ 90 (punkt 5.4.3) opis przyjętego modelu matematycznego elektrycznego bloku sterowania pocisku został przedstawiony w sposób mało czytelny. Brak informacji czy model ten jest oryginalny i nigdzie dotychczas nie był publikowany?
6. Brak jednoznacznej informacji, czy Doktorant miał prawo dysponować wynikami strzelań doświadczalnych przedstawionymi w rozdziałach 6 i 7?
7. Brak odwołania do literatury na stronach: 57, 59, 83, 85, 86, 88, 97, 98, 100 sugeruje, że przedstawione tam wyniki badań i analiz są oryginalnym osiągnięciem Autora. W treści pracy nie występują odwołania do pozycji literatury: [1, 2, 3, 42].
8. W wielu przypadkach w rozdziale 7 nie podano jakimi przyrządami bądź w jaki sposób dokonywano pomiarów badanych wielkości fizycznych.
9. Brak informacji czym różnią się badania symulacyjne przeprowadzone w etapie drugim i trzecim badań – str. 82?
10. Stosowanie tych samych oznaczeń dla współrzędnej środka masy - x_T (str. 6) i X (str. 95) oraz h dla uchybu (str. 48) i kroku całkowania (str. 90).

Uwagi szczegółowe:

1. Stosowanie neologizmów bez podania objaśnień, np.:
 - a) Str. 6 oraz strony 3 i 4 Załącznika A - model przedmuchowy – brak objaśnienia, że nazwa ta powinna być odniesiona do materialnego modelu



badawczego rakiety Grom przeznaczonego do badań w tunelu aerodynamicznym,

- b) moment korekcji – str. 53,
- c) całkowite obciążenie bezwładności – str. 8,
- d) współczynniki przeciw siły elektromotorycznej – str. 87 i str. 90,
- e) moment obciążenia pozycyjnego – str. 88,
- f) współczynnik momentu pozycyjnego – str. 88,
- g) współczynnik korekcji przerzutu sterów – str. 90,
- h) strzelanie wariantowe – str. 119 (Tabela 7.6).

2. Nieprawidłowo użyte słowa, skróty i sformułowania:

- a) str. 6 - jest, przy pomocy – powinno być, za pomocą,
- b) str. 6 – jest, w płaszczyźnie prostopadłej kąta ataku – powinno być, w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kąta natarcia,
- c) str. 6 – jest, środek ciśnienia – powinno być, środek parcia,
- d) str. 13 – jest, ilość – powinno być, liczba,
- e) str. 16 – jest, w KBM w Kołomnie – powinno być, w Biurze Konstrukcyjnym Budowy Maszyn w Kołomnie,
- f) str. 17 - jest, dwukrotnie czulszy detektor – powinno być, detektor o dwukrotnie większej czułości,
- g) str. 21 – jest, oś własna - powinno być, oś podłużna pocisku,
- h) str. 31 - jest, przypadku Groma – powinno być, jest w przypadku rakiety Grom,
- i) str. 38 - jest, nadaje pociskowi prędkość ponad 2,2 Ma - powinno być, nadaje pociskowi prędkość odpowiadającą liczbie Macha równej lub większej od 2,2 (liczba Macha określa stosunek lokalnej prędkości opływu do lokalnej prędkości dźwięku),
- j) str. 53 - jest, oś wzdłużna – powinno być, oś podłużna,
- k) str. 58 – ...szybki rozwój ostatnimi czasy... – powinno być np., ...szybki rozwój w ostatnim okresie...,
- l) str. 69 i str. 70, tab. 4.5 - jest, siła ciągu – powinno być, ciąg,
- m) str. 98 – jest, obszar charakterystyczny - powinno być, powierzchnia charakterystyczna,
- n) str. 95 – jest, $S=0,00101736$ – powinno być, $S=0,00101736 \text{ [m}^2\text{]}$,
- o) str. 99, jest $M=0,5$ do $M=2$ – powinno być $Ma=0,5$ do $Ma=2$,

- p) str. 100 – jest, na rysunkach 86...120 (załącznik 2.2) - powinno być, ...na rysunkach A,86...A.120 (Załącznik A),
 - q) str.113 i str. 130 – jest, moment – powinno być, chwila,
 - r) str. 123 – jest, plotn. – powinno być, plot,
 - s) str. 124 – jest, 7.4 – powinno być 4.4.
3. Nieprecyzyjne lub niezrozumiałe stwierdzenia oraz określenia, np. :
- a) Str. 6 - co należy rozumieć pod pojęciem środek ciśnienia?,
 - b) Str. 56 - z uwagi na słabą czytelność rysunku 3.12, także informacje przedstawione na stronie 57 są mało czytelne,
 - c) Str. 59 – jak należy rozumieć stwierdzenie, że stery zamieniły się ruchami?,
 - d) Str. 53 – czy moment układu korekcyjnego oraz moment korekcji to są te same wielkości?,
 - e) Str. 59 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...a im mniejszy kąt przerzutu sterów, tym mniejszy opór aerodynamiczny?,
 - f) Str. 59 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...zwiększenie wydajności tworzenia sił i momentów kontroli...?,
 - g) Str. 59 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...z wyników analizy literatury naukowo-technicznej wynika...?,
 - h) Str. 68 - niewłaściwy układ tabeli 4.4 oraz nieprecyzyjne stwierdzenia w niej zawarte,
 - i) Str. 69 i str. 70 – niezrozumiałe informacje podane w trzeciej kolumnie tabeli 4.5,
 - j) Str. 84 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...całkowite obciążenie bezwładności i zawiasowe...?,
 - k) Str. 87 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...określenie stabilności bloku sterów...? – czy chodzi o stabilność pracy bloku sterów?,
 - l) Str. 89 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...doprowadzony moment bezwładności...?,
 - m) Str. 90 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...współczynnik siły przeciw elektromotorycznej...?,
 - n) Str. 90 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...luka kątowa między elementami...?,



- o) Str. 92 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...moment tarcia na osi nie więcej niż 0,1 Nm...?,
 - p) Str. 92 – jak należy rozumieć stwierdzenie: ...błąd statyczny... - do jakiej wielkości fizycznej należy go odnieść?
 - q) Str. 93 - jak należy rozumieć stwierdzenie: ... w celu zapewnienia stabilności bloku sterowania... o jaką stabilność chodzi?,
 - r) Str. 100 – co należy rozumieć pod określeniem,...stopień stateczności korpusu z powierzchniami nośnymi... – jaką stateczność Autor ma na myśli?
 - s) Str. 103 - jak należy rozumieć stwierdzenie: ...zespoły wyższego rzędu pocisku raketowego Grom...?,
 - t) Str. 118 – co należy rozumieć pod określeniem strzelanie wariantowe?,
 - u) Str. 119 – co należy rozumieć pod określeniem: uchyby w osiach x, y, z?,
 - v) Str. 120 – co należy rozumieć pod określeniami: uchyb w osi pionowej oraz uchyb w osi poziomej?.
4. Str. 14 - NAA nie jest skrótem oznaczającym obiekt latający lecz Normalną Atmosferę Artyleryjską.
 5. Słaba czytelność rysunków : 2.2, 3.9, 3.12, 7.12 i 7.13.
 6. W pracy występują liczne błędy w postaci tzw. „literówek” oraz w stosowaniu interpunkcji – np. strony: 27, 31, 37, 64, 67, 68, 73, 76, 82, 83, 106, 113, 119, 123, 129, 136.
 7. Str. 64 – podana jest nieprawdziwa informacja, że w drugim etapie projektowania bloku sterowania z elektrycznym napędem sterów został opracowany model matematyczny lotu modelu badawczego – nie znajduje to potwierdzenia w treści pracy.

Przedstawione wyżej uwagi w określony sposób wpływają na wartość rozprawy mgr. inż. Janusza NOGI.

6. Ocena końcowa rozprawy;

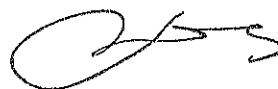
Rozprawę można potraktować jako ważne autorskie osiągnięcie przedstawiające w sposób kompleksowy problematykę sterowania raket przeciwołotniczych bardzo krótkiego zasięgu. Za nowe podejście, w skali kraju, do rozważanej problematyki można uznać opracowanie, wykonanie oraz przebadanie oryginalnego bloku

sterowania rakiety przeciwlotniczej z elektrycznym proporcjonalnym wychylaniem sterów.

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

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

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. Z jakich grup równań składa się pełny model matematyczny ruchu rakiety sterowanej w atmosferze ziemskiej?
2. Co to jest strefa rażenia pocisku przeciwlotniczego i od jakich czynników zależą jej wymiary?
3. Jakie kryteria podobieństwa należy uwzględniać w przypadku badania modeli obiektów latających w tunelu aerodynamicznym?

