

prof. dr hab. inż. Andrzej Żyłuk
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul. Ks. Bolesława 6
01-494 Warszawa

Warszawa 19.09.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa ZDEBA
**p.t. " MODELOWANIE I BADANIE DYNAMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI UKŁADU
CZŁOWIEK-PISTOLET MASZYNOWY"**
wykonanej
w związku z uchwałą nr 31/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 22.06.2023 r.
pod kierownictwem dr. hab. inż. Zbigniewa Dziopy prof. PŚk

1. Wprowadzenie

Problematyka ogólnie pojętego uzbrojenia strzeleckiego jest zagadnieniem ważnym i złożonym bez względu na jego potencjalnych projektantów, wykonawców czy też użytkowników. W pracy podjęto problem identyfikacji zjawisk zachodzących w trakcie użytkowania broni palnej a w szczególności reakcji pomiędzy strzelcem a bronią. Doktorant wyszedł naprzeciw tym wyzwaniom i podjął się w swojej rozprawie zadania polegającego na zamodelowaniu zagadnień omawiających interakcje występujące w układzie strzelec-pistolet maszynowy podczas oddawania strzału. Temat pracy jest interesujący z uwagi na brak w dostępnych publikacjach opracowań omawiających interakcje występujące w układzie strzelec-pistolet maszynowy podczas oddawania strzału. Z powyższego wynika, że dysertacja jest w pełni uzasadniona, a tematyka ważna i aktualna z technicznego, badawczo-rozwojowego i eksperckiego punktu widzenia oraz jest ściśle powiązana z bezpieczeństwem państwa.

2. Omówienie treści rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa ZDEBA przedstawiona jest na 170 stronach i składa się z sześciu rozdziałów z wydzieleniem streszczenia, wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń oraz bibliografii. W treści pracy Autor zaprezentował 74 pozycje literaturowe, zarówno krajowe, jak i zagraniczne

W rozdziale pierwszym opisano obszar zainteresowań Doktoranta oraz przedstawiono cel i główne zadania badawcze. Autor wybrał i opisał ogólnie obiekty badań - pistolet maszynowy Glauberyt, amunicję kal. 9mm Parabellum oraz strzelca. Następnie w rozdziale drugim Autor skupił się na badaniach układu strzelec – broń, przedstawiając dość

ZŁE

szczegółowo zasadę działania pistoletu maszynowego, amunicji do niego jak również operatora tej broni – strzelca. Zaprezentował stanowisko badawcze i zrealizowane badania.

W rozdziale trzecim Autor opisał modele fizyczne i matematyczne układu człowiek – broń oraz przedstawił wyznaczenie podstawowych charakterystyk dynamicznych tego układu. W części końcowej tego rozdziału Doktorant porównał wyniki obliczeń z danymi otrzymanymi z eksperymentu.

Rozdział czwarty to balistyka zewnętrzna z elementami rozrzutu pocisków.

W następnych rozdziałach Doktorant opisuje pewne wytyczne które pozwoliłyby na zmniejszenie rozrzutu broni lufowej oraz podsumowuje swoje dokonania. Przedstawioną do recenzji pracę kończy bibliografia.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Na podstawie oceny przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że podjęte w niej trudne i ciekawe zadanie naukowo-badawcze zostało przez Autora zrealizowane. Rozprawa zawiera oryginalne osiągnięcia poznawcze i praktyczne, a sam Autor wykazał się kompetencjami w zakresie prowadzonych analiz teoretycznych i doświadczalnych.

Najbardziej wartościowe i oryginalne wartości przedstawionej do oceny dysertacji to:

1. Przeprowadzono badania doświadczalne na strzelnicy oraz analizę teoretyczną opartą o sformułowane modele matematyczne. Po weryfikacji i walidacji modelu teoretycznego i przeprowadzeniu rozważań w przestrzeni wirtualnej określono zmiany w konstrukcji i parametrach broni wpływające na poprawę jej celności.
2. Rozwiązano zagadnienie własne wyznaczając podstawowe charakterystyki dynamiczne układu. Analiza częstości i postaci drgań własnych pozwala na ocenę reakcji układu na powstające zaburzenia.
3. Wyznaczono przebiegi zmienności sił działających na układ podczas oddawania przez strzelca strzału z pistoletu maszynowego. W tym celu przeprowadzono analizę odwrotną. Wyznaczono na podstawie analizy zarejestrowanych filmów z przeprowadzonych strzelań przebieg zmienności wielkości kinematycznych opisujących ruch specjalnie wprowadzonych na broni znaczników. Sformułowano model teoretyczny układu strzelec-pistolet maszynowy i przeliczono otrzymane z badań eksperymentalnych wyniki na ruch środka masy broni i ruch rąk strzelca. Wykorzystanie opracowanego modelu teoretycznego i wyników badań doświadczalnych pozwoliło na wyznaczenie przebiegu zmienności sił działających na układ podczas oddawania przez strzelca strzału z pistoletu maszynowego.
4. Opracowano model fizyczny i matematyczny ruchu układu strzelec-pistolet maszynowy podczas oddawania strzału. Sformułowany model teoretyczny jest układem zmiennym w czasie o sześciu stopniach swobody. Wykorzystując ten model przeprowadzono analizę numeryczną. Otrzymane wyniki symulacji wykazały pewną zgodność z danymi eksperymentalnymi. Na tej podstawie, poprzez zmianę parametrów broni opracowano

wytyczne zmierzające do takiego kształtowania właściwości dynamicznych pistoletów maszynowych, aby zmniejszyć rozrzut wystrzelianych pocisków.

- Przeprowadzono strzelanie ogniem pojedynczym i ciągłym z broni PM-98 i PM-06 do tarczy znajdującej się w odległości 25 m. Na uwagę zasługuje zastosowanie statystyki, która umożliwia statystyczne porównania wyników czterech rodzajów strzelań. W tej statystyce przeprowadzane są tzw. porównania wielokrotne, a test dotyczy sześciu hipotez jednocześnie.

Praca zawiera również elementy dyskusyjne, drobne nieścisłości lub niedopowiedzenia.

Uwagi szczegółowe:

- Nie zdefiniowano jak wygląda rozpatrywany układ, które elementy są inercyjne, a które nieinercyjne – np. do której części przypisać masę m_{11} ?
- Do wyprowadzenia równań ruchu zastosowano równania Lagrange' II rodzaju. Dalej podano równania ruchu (3.2). Brak zdefiniowania energii kinetycznej, energii potencjalnej, a w szczególności funkcji dyssypacji energii Rayleigha.
- Pokazany na rysunku 3.2 model jest nieczytelny – brak opisu co symbolizują poszczególne elementy rysunku.
- Dlaczego w modelu (3.2) nie ma elementów tłumiących skoro w rozdziale 3.1 podano wartości tłumień?
- Przedstawione zależności są nieweryfikowalne – np. na stronie 109 po wzorach $\lambda_{12}=\dots$, $\lambda_{13}=\dots$, podano kolejne wzory np. $\lambda_{22}=\dots$. Jak wzór ten uzyskano skoro napisano że wynika on z wzorów wcześniejszych?
- Analiza modalna dotyczy układu bez tłumienia – po co ją tu przedstawiono, dodatkowo tak szczegółowo? Otrzymane wartości własne i wektory własne dotyczą układu bez tłumienia, co jest sprzeczne z danymi z rozdziału 3.1.
- Model pokazany na rysunku 3.6 jest nieczytelny – brak opisu co symbolizują poszczególne elementy rysunku.
- Zdefiniowano energię kinetyczną i potencjalną. W modelu pojawiły się tłumienia! Dlaczego nie zdefiniowano funkcji dyssypacji energii Rayleigha? W wynikowych wzorach na stronie 111 brak członów zawierających współczynniki c_{ij} . Dlaczego?
- Na rysunku 3.7 zniknęły tłumienia. Dlaczego?
- We wzorach (3.4) ponownie pojawiły się człony zawierające tłumienie. Skąd się wzięły?
- Dlaczego we wzorze (3.24) sprężystość i tłumienie są jednoindeksowe, skoro w pierwszym równaniu (3.4) są dwa indeksy. Dlaczego zniknęły dwa składniki, które są w równaniu (3.4) po prawej stronie?
- Opis modelu fizycznego jest pobieżny i mało dokładny. Co na przykład reprezentują współczynniki k_{23} i c_{23} ? Można domyślać się ich znaczenia jedynie z rysunku 3.31. (rysunek 3.30 i 3.32 są nieczytelne ze względu na tło).

Uwagi dyskusyjne:

- Jak rozwiązywano równanie charakterystyczne, które jest wielomianem 4-go rzędu?

2. Jak Doktorant wybierał element wektora własnego, względem którego normalizował pozostałe elementy?
3. W jakim celu Doktorant szczegółowo wyprowadzał równania ruchu pocisku skoro są to powszechnie dostępne równania, które można przedstawić powołując się na źródło?
4. W równaniach ruchu występują siły aerodynamiczne. Skąd Doktorant zaczerpnął charakterystyki aerodynamiczne pocisku i na ile odnoszą się one do pocisków, którymi strzelano?
5. Jaki związek ma modelowanie ruchu pocisku z tematem pracy?
6. Porównując wyniki otrzymane z symulacji sformułowanego modelu teoretycznego ruchu układu strzelec-pistolet maszynowy z wynikami uzyskanymi na podstawie badań doświadczalnych przedstawiono tylko przebieg zmienności kąta pochylenia broni?
7. Wyniki otrzymane z badań doświadczalnych jako przebiegi wielkości kinematycznych charakteryzujących ruch broni i rąk strzelca nie są szczegółowo omawiane.
8. Wyniki otrzymane z analizy odwrotnej w postaci przebiegu w czasie sił działających na układ podczas oddawania strzału nie są szczegółowo omawiane.

Wymienione niedociągnięcia nie mają zasadniczego wpływu na wartość merytoryczną rozprawy, pozostałe drobne uwagi przekazałem Doktorantowi.

Uważam, że zakres wykonanych przez Autora analiz, jest wystarczający dla uzasadnienia postawionego celu pracy. Temat pracy odpowiada zawartej w niej treści i może stanowić punkt wyjścia do dalszych prac w ogólnie pojętym obszarze bezpieczeństwa państwa.

Uwzględniając podstawowe elementy recenzowanej rozprawy doktorskiej oceniam rozprawę doktorską mgr inż. Krzysztofa ZDEBA pozytywnie.

4. Wniosek końcowy

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorant mgr inż. Krzysztof ZDEB:

- zrealizował postawiony cel pracy oraz uzasadnił słuszność przyjętych założeń;
- uzyskał nowe elementy w pracy doktorskiej które mogą być wykorzystane do udoskonalenia projektowania, wykonywania oraz przeprowadzania ekspertyz w zakresie broni strzeleckiej;
- wykazał się dobrą znajomością i umiejętnościami zastosowania pojęć z metod oceny i prowadzenia eksperymentów układów człowiek-maszyna.

Uważam, że praca doktorska mgr inż. Krzysztofa ZDEBA spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021 poz. 478 ze zm.) i wnioskuje do Rady Naukowej Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna w Politechnice Świętokrzyskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

