

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Paziewskiej zatytułowanej:

„ŁADUNKI NAPĘDOWE O ZWIĘKSZONEJ SZYBKOŚCI SPALANIA DO STEROWANIA GAZODYNAMICZNEGO RAKIET I POCISKÓW”

Podstawa wykonania recenzji

Podstawa prawna: zgodna ze stanem prawnym, określonym w art. 13 ust. 1 Ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t. J. Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późn. zm).

Recenzja została sporządzona na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych z dn. 19 kwietnia 2023 r. reprezentowaną przez Sekretarza Rady Naukowej dr inż. Grzegorza Kowalczyka, prof. ITWL.

Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Pauliny Paziewskiej, która była realizowana w Instytucie Przemysłu Organicznego - Sieć Badawcza Łukasiewicz. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Andrzej Maranda, a promotorem pomocniczym dr inż. Katarzyna Gańczyk-Specjalska. Praca finansowana była przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu badań naukowych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa pn. “Przyszłościowe technologie dla obronności – Konkurs Młodych Naukowców” – umowa nr DOB – 2P/03/01/2018.

Wybór tematu i określenie problematyki badawczej

Stałe heterogeniczne paliwa raketowe (SHPR) są wykorzystywane w technice wojskowej do wytwarzania ładunków napędowych do pocisków raketowych oraz w technice kosmicznej. Obecnie w polskim przemyśle obronnym nie są produkowane materiały pędne charakteryzujące się wysokimi liniowymi szybkościami spalania (powyżej 40 mm/s). Wysokie

wartości liniowych szybkości spalania są konieczne do uzyskania, aby dany materiał pędny mógł być zastosowany w układach wykonawczych sterowania gazodynamicznego raket lub pocisków. Sterownie gazodynamiczne lotem pocisków mieści się w nurcie rozwoju najnowszych technik sterowania. Zaletą sterowania gazodynamicznego jest to, że takie układy mogą pracować w momencie, kiedy inny rodzaj sterowania (np. aerodynamiczny) nie może zostać zastosowany.

Tematyka stałych heterogenicznych paliw raketowych (SHPR) jest od wielu lat rozwijana w Instytucie Przemysłu Organicznego - Sieć Badawcza Łukasiewicz w Warszawie. Dotyczy ona wytwarzania i zastosowania tego typu materiałów w wielu gałęziach współczesnej techniki. W tym właśnie obszarze wpisuje się recenzowana rozprawa, w której Doktorantka podjęła się trudnego tematu otrzymania ładunku napędowego o niskim stopniu obciążenia środowiska naturalnego do gazogeneratora w układzie wykonawczym sterowania raket i pocisków. Celem pracy było opracowanie ładunku napędowego o zwiększonej szybkości spalania, charakteryzującego się czasem spalania niższym niż 50 ms i ciśnieniem pracy w zakresie 30-40 MPa. Przeznaczeniem ładunku jest umożliwienie gazodynamicznego sterowania niekierowanych pocisków raketowych, w celu zwiększenia skupienia rażenia.

Ze względu na wagę omawianego zagadnienia, wybór tematu opiniowanej rozprawy doktorskiej należy więc uznać za w pełni prawidłowy. W opinii recenzenta tematyka niniejszej pracy nie tylko, że jest wciąż aktualna lecz niezmiernie ważna z uwagi na potencjał aplikacyjny stałych heterogenicznych paliw raketowych.

W mojej ocenie przyjęte przez Doktorantkę główne założenia pracy były w pełni słuszne, zaś podstawowy cel i teza został sformułowany prawidłowo. Zdaniem recenzenta problematyka badawcza pracy jest niezwykle ważna ze względu na poruszone w niej nowe aspekty poznawcze i aplikacyjne.

Struktura i strona edytorska rozprawy

Pod względem formalnym praca ma klasyczny układ treści. Rozprawa doktorska zawiera stronę tytułową z wszystkimi istotnymi danymi, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, wykaz skrótów i symboli użytych w pracy, wstęp składający się z wprowadzenia do tematyki rozprawy oraz cel pracy. Następnie znajduje się część literaturowa licząca 34 strony, badania własne i dyskusja zawierająca również część eksperymentalną, podsumowanie razem z wnioskami, bibliografia oraz spis rysunków i tabel.

Rozprawa doktorska liczy 147 stron, zawiera 102 rysunki i 52 tabele, które są udokumentowaniem przeprowadzonych badań. Cytowana literatura obejmuje 120 pozycji

właściwie dobranych i związanych z tematyką rozprawy. Struktura pracy jest przejrzysta i spójna, dobrze koreluje z koncepcją i zakresem wykonywanych badań. Pod względem redakcyjnym rozprawa doktorska przygotowana została bardzo starannie, a występujące w pracy usterki edytorskie są nieliczne i nie umniejszają wartości pracy. Podsumowując, zaprezentowana struktura pracy w pełni odpowiada oczekiwaniom stawianym rozprawom doktorskim.

Ocena merytoryczna pracy

Tytuł rozprawy odpowiada zaprezentowanym wynikom badań. W części literaturowej w pierwszym podrozdziale Autorka omówiła heterogeniczne stałe paliwa raketowe skupiając się na składnikach, ich roli w paliwie oraz wymaganiom im stawianym. Porównała obecnie stosowane składniki z alternatywnymi będącymi aktualnie na etapie badań. Zostały omówione utleniacze, lepiszcza, plastyfikatory, środki wiążące, dodatki w postaci proszków metali i materiałów wysokoenergetycznych oraz środki utwardzające.

W drugim podrozdziale części literaturowej Doktorantka opisała proces spalania SHPR. Spalanie stałych paliw raketowych jest to sekwencja wzajemnie powiązanych procesów fizycznych i reakcji chemicznych prowadzących do zmiany paliwa, będącego w stałym stanie fizycznym w gazowe produkty spalania o wysokiej temperaturze, w wyniku czego silnik raketowy rozwija ciąg. Zdefiniowane zostały podstawowe parametry charakteryzujące spalane paliwo raketowe takie jak: siła ciągu, impuls całkowity, impuls specyficzny. Następnie zostały omówione poszczególne etapy spalania paliwa – zapłon i spalanie stacjonarne. Doktorantka opisała modele i mechanizmy spalania paliwa na bazie chloranu(VII) amonu i polibutadienu (HTPB) oraz wpływ dodatku glinu na przebieg spalania. W dalszej części Doktorantka poruszyła temat szybkości spalania paliwa raketowego. Parametr ten warunkuje możliwość programowania pracy silnika i decyduje często o możliwościach zastosowania paliwa jako źródła energii do napędu danego obiektu. Na szybkość spalania ma wpływ: wielkość cząstek utleniacza, zawartość utleniacza, rodzaj lepiszcza, ilość lepiszcza, rodzaj dodatków np. modyfikatory szybkości spalania, ilość dodatków. Poprzez zmianę charakterystyki kompozycji paliwowej możemy wpłynąć na wzrost szybkość spalania paliwa.

W kolejnym podrozdziale omówiona została ocena obciążeń środowiskowych paliw. Opisano klasyfikację dymności SHPR zgodnie z AGARD Standard Classification oraz jakie są możliwości i co należy zrobić aby obniżyć dymność paliw.

W ostatnim podrozdziale części literaturowej Doktorantka opisała zasadę sterowania gazodynamicznego. Sterownie gazodynamiczne lotem pocisków mieści się w nurcie rozwoju

najnowszych technik sterowania. Do sterowania gazodynamicznego raket i pocisków na startowym odcinku toru lotu stosowane są odpowiednie silniki pomocnicze noszące nazwę silników sterujących. Zasada gazodynamicznej korekcji lotu za pomocą silników raketowych, jednorazowego użytku, polega na krótkotrwałym przyłożeniu siły o określonej wartości, wywołanej ukierunkowanym strumieniem gazów, w odpowiedni punkt na powierzchni korygowanego obiektu.

Oceniając całokształt części literaturowej rozprawy z całym przekonaniem stwierdzam, że dobór materiału w tej części pracy został przeprowadzony właściwie, a sposób jej przedstawienia oceniam jako klarowny i jasny. Opracowanie literaturowe zawiera najistotniejsze informacje, które pozwalają umieścić tematykę pracy na tle aktualnego stanu wiedzy.

Kolejna część pracy zatytułowana badania własne i dyskusja rozpoczyna się od prezentacji metod badawczych wykorzystywanych w pracy do oceny właściwości fizykochemicznych i balistycznych otrzymanych paliw raketowych. W części tej opisano z jakiego programu korzystano do szacowania właściwości termodynamicznych i termochemicznych paliw o różnym składzie. Opisano także stosowane techniki badawcze jak: pomiar twardości paliw, badania wrażliwość paliw na bodźce mechaniczne (tarcie i uderzenie), badania ciepła spalania paliw pod zmniejszonym ciśnieniem, analiza właściwości termicznych surowców i paliw (DTA-TG), analiza właściwości termomechanicznych paliw (DMA), badania właściwości balistycznych paliw w laboratoryjnym silniku raketowym (wyznaczano zależność szybkości spalania od ciśnienia), badania właściwości balistycznych ładunków napędowych w laboratoryjnym modelu komory balistycznej gazogeneratora oraz badania niektórych użytych surowców za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Opis wszystkich zastosowanych technik pomiarowych jest klarowny, o wystarczającym stopniu szczegółowości.

Kolejny podrozdział dotyczy wyboru i charakterystyki użytych surowców zawierający dodatkowo opis procedur otrzymywania stabilizowanego fazowo azotanu(V) amonu.

Niewątpliwie najważniejszą częścią rozprawy są kolejne podrozdziały czyli uzyskane wyniki ich omówienie oraz dyskusja wyników. Wyniki są zilustrowane w formie licznych rysunków i tabel. W kolejnych podrozdziałach Doktorantka opisała stosowaną technologię otrzymywania stałych paliw raketowych oraz składy otrzymanych przez nią paliw raketowych. Doktorantka otrzymała 38 paliw, które tworzyły 5 serii. Każda seria była modyfikacją poprzednich paliw. Otrzymane paliwa zbadana pod względem właściwości fizykochemicznych, termicznych i balistycznych.

Kolejnym etapem było opracowanie koncepcji technologii wytwarzania ładunku napędowego oraz określenie charakterystyki modelu ładunku (geometrii i właściwości balistycznych). Następnie ładunek napędowy był spalany w układzie laboratoryjnego modelu balistycznej komory gazogeneratora. Na podstawie badań szybkości spalania zostały wytypowane przez Doktorantkę składy paliw, które charakteryzowały się czasem pracy niższym niż 50 ms przy ciśnieniu pracy w komorze silnika między 30-40 MPa.

Na zakończenie rozprawy, podsumowaniu wyników badań, Doktorantka sformułowała wnioski. Zdaniem recenzenta są one sformułowane prawidłowo. Wyniki zawarte w rozprawie są dobrze opracowane i udokumentowane. Zawierają szereg interesujących i ważnych informacji, zarówno z technologiczno-aplikacyjnego jak i z naukowego punktu widzenia. Oceniając część doświadczalną rozprawy z całym przekonaniem stwierdzam, że wykonane zostały badania, które pozwalają na wyciągnięcie głównych i bardzo dobrze udokumentowanych wniosków. Wszystkie eksperymenty zostały przeprowadzone bardzo starannie i prawidłowo, a interpretacja wyników nie budzi wątpliwości recenzenta. Zawarte we wstępie tezy badawcze zostały zweryfikowane poprawnie, a sposób opracowania wyników wskazuje na dużą wiedzę Doktorantki w zakresie tematyki, jaką poruszała w swoim doktoracie.

Główne osiągnięcia recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Paziewskiej

- Zbadanie jak wpływa dodatek azotan(V) sodu, materiału wysokoenergetycznego czy plastyfikatora, kosztem zmniejszenia zawartości chloranu(VII) amonu w paliwie oraz zmniejszenie rozdrobnienia pyłu aluminiowego i dodatek modyfikatora szybkości spalania na właściwości fizykochemiczne, termiczne i balistyczne paliwa raketowego
- Opracowanie metody formowania ładunków paliw o zmniejszonej zawartości składników ciekłych metodę prasowania ładunków.
- Wykazanie, że nie zmieniając składu paliwa możliwe jest zwiększenie szybkości spalania paliwa poprzez zmniejszenie średnicy krytycznej dyszy wylotowej i zwiększenie średnicy kanału wewnętrznego ładunku.
- Opracowanie składu i geometrii ładunków napędowych charakteryzują się liniową szybkością spalania ok. 40 mm/s w zakresie ciśnień od 30 do 40 MPa. Wytypowane składy ładunków napędowych charakteryzowały się zmniejszoną ilością HCl w produktach spalania o min. 73% względem klasycznego składu paliwa heterogenicznego na bazie chloranu(VII) amonu.

Uwagi i pytania do Doktorantki

- Tytuł rozdziału 3.1.6. powinien być „Analiza właściwości termomechanicznych paliw” a nie „Analiza właściwości termochemicznych paliw”.
- Numer rysunku jest 1.65 powinien być 3.65.
- Właściwości paliw zależą od wielu parametrów nawet takich, których nie jesteśmy w pełni kontrolować. Czy zweryfikowano wyznaczone właściwości fizykochemiczne i balistyczne otrzymanych paliw przez otrzymanie i zbadanie więcej niż jednego paliwa o tym samym składzie?
- Dlaczego na Rys. 3.67-3.73 przedstawiających zależność ciśnienia od czasu dla ładunków napędowych jest różny czas zapłonu? W niektórych przypadkach są to duże różnice.
- Na rysunkach 3.35, 3.36, 3.38 przebieg zależności szybkości palenia od ciśnienia jest nierównomierny, jaka jest tego przyczyna?
- Jaka jest porowatość paliw formowanych metodą prasowania, czy otrzymuje się powtarzalne pod tym względem ładunki?

Powyższe uwagi lub pytania mają charakter polemiczny i nie wpływają na wysoką ocenę pracy.

Wniosek końcowy

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Paziewskiej zawiera obszerny materiał eksperymentalny. Końcowe wnioski trafnie opisują i podsumowują przeprowadzone prace. Rozprawa doktorska wniosła nową wiedzę w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Doktorantka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, eksperymentalnych i aplikacyjnych oraz korzystania z nowoczesnych narzędzi i metod badawczych, niezbędnych w zakończonej sukcesem realizacji doktoratu.

Reasumując, uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Pauliny Paziewskiej pt.: „Ładunki napędowe o zwiększonej szybkości spalania do sterowania gazodynamicznego rakiet i pocisków” spełnia wszystkie warunki stawiane przez art.13-ty ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw z dn. 14.03.2003 wraz z późniejszymi zmianami) oraz art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669, z późn. zm.), wnoszę więc do Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Pauliny Paziewskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

P. Malinowski