

Warszawa, dn. 14.03.2019 r.

dr hab. inż. Mirosław NOWAKOWSKI, prof. ITWL
Zakład Samolotów i Śmigłowców
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada KUŹMY

**pt.: „ZASTOSOWANIE LOGIKI ROZMYTEJ DO OCENY NIEZAWODNOŚCI
SYSTEMÓW UZBROJENIA LOTNICZEGO”**

wykonanej

w Lotniczej Akademii Wojskowej

pod kierownictwem

płk. dr. hab. inż. Norberta GRZESIKA, prof. LAW

1. PODSTAWA WYKONANIA RECENZJI

Recenzję opracowano na podstawie pisma Dziekana Wydziału Lotnictwa Lotniczej Akademii Wojskowej z dnia 27.02.2019 r. z załączoną rozprawą doktorską mgr. inż. Konrada KUŹMY pt. „Zastosowanie logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego”, wydrukowaną w Wydawnictwie Lotniczej Akademii Wojskowej w Dęblinie w 2019 r. Promotorem rozprawy jest płk dr hab. inż. Norbert GRZESIK, prof. LAW, a promotorem pomocniczym dr inż. Kamil PRZYBYSZ.

2. TREŚĆ I ZAKRES PRACY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera 122 strony. Składa się z wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, streszczenia, 9 ponumerowanych rozdziałów: wstępu, analizy danych literaturowych, tezy, celu i zakresu pracy, obszaru badań, przeglądu matematycznych metod oceny niezawodności, analizy niezawodności w podejściu klasycznym i w podejściu teorii zbiorów rozmytych, porównania wyników i wniosków, Pracę zamyka wykaz literatury, spis rysunków i tabel oraz dwa załączniki. Przedstawiono w niej 68 rysunków i 21 tabel ilustrujących dane źródłowe oraz wyniki analiz.

We „Wstępie” Doktorant przedstawił genezę teorii niezawodności w ujęciu probalistycznym oraz podejściu wykorzystującym logikę rozmytą.

W rozdziale drugim przedstawiono „Analizę danych literaturowych”. W oparciu o literaturę światową można wyodrębnić trzy główne nurty związane z wykorzystaniem logiki rozmytej w ocenie niezawodności. Pierwszy zajmuje się głównie analizą i oceną ryzyka powstawania awarii. W drugim nurcie naukowcy próbują analizować czynnik ludzki, który ma także wpływ na powstawanie awarii. Trzecia grupa badań nad niezawodnością wskazuje na możliwość wykorzystania logiki rozmytej do odpowiedniego planowania obsługi i tym samym zapobiegania powstawaniu uszkodzeń. Stąd można wysunąć wniosek, że logika rozmyta może być stosowana w analizie oceny niezawodności różnych systemów technicznych.

W rozdziale trzecim pt. „Teza, cel i zakres pracy”, Doktorant biorąc pod uwagę niepewność i niejednoznaczność czynników mających wpływ na niezawodność systemów uzbrojenia oraz wyniki badań pochodzące z danych literaturowych sformułował tezę pracy, która brzmi następująco:

„Logika rozmyta daje możliwość budowy modelu niezawodności wybranego systemu uzbrojenia lotniczego oraz pozwala ocenić oddziaływanie różnych czynników mających wpływ na powstawanie niesprawności systemu uzbrojenia”.

Stąd na podstawie postawionej tezy Doktorant określił następujące cele pracy:

- dokonanie analizy danych statystycznych występowania uszkodzeń podsystemu uzbrojenia strzeleckiego samolotu zawartych w SI SAMANTA,
- opracowanie probabilistycznego modelu niezawodności podsystemu uzbrojenia strzeleckiego samolotu,
- zaprojektowanie modelu niezawodności systemu uzbrojenia strzeleckiego samolotu wykorzystującego logikę rozmytą, którego zadaniem będzie oszacowanie niezawodności na podstawie różnych czynników,
- dokonanie analizy uzyskanych wyników i porównanie wskaźników niezawodności uzyskanych z klasycznego modelu probabilistycznego i modelu wykorzystującego logikę rozmytą.

W czwartym rozdziale pracy pt. „Obszar badań” przedstawiono charakterystyki wybranego system uzbrojenia. Do badań przyjęto podsystem uzbrojenia strzeleckiego samolotu TS-11 „Iskra”, wyposażony w uzbrojenie strzeleckie, raketowe i bombowe. W pracy skupiono się na niezawodności uzbrojenia strzeleckiego, działka NS-23KM (lub

zamiennie NR-23) kalibru 23 mm. Ponadto przedstawiono podstawy matematyczne teorii zbiorów rozmytych oraz podstawowe pojęcia teorii niezawodności.

Rozdział piąty poświęcony jest „Przeglądowi matematycznych metod oceny niezawodności”. W przypadku obiektów technicznych do wyznaczenia niezawodności Doktorant przedstawił następujące modele prognozowania:

- a) ekstrapolacje wartości szeregów czasowych,
- b) adaptacyjne modele trendu,
- c) autonomiczną ekstrapolację procesów stochastycznych,
- d) modele probabilistyczne,
- e) metody eksperckie.

W rozdziale szóstym Autor dokonał „Analizy niezawodności w podejściu klasycznym”. Analiza w podejściu klasycznym poprzedzona została analizą danych statystycznych o uszkodzeniach uzbrojenia strzeleckiego samolotu TS-11 „Iskra”. W oparciu o dane statystyczne (eksploatacyjne) z informatycznego systemu wsparcia eksploatacji SI SAMANTA, opracowano probabilistyczny model niezawodności podsystemu uzbrojenia strzeleckiego. W modelu tym jako nieujemną zmienną losową T przyjęto nalot (czas pracy urządzeń liczony w godzinach lotu), dopasowano rozkład zmiennej losowej, gdzie najbardziej pasującym rozkładem okazał się rozkład Weibulla. Wyznaczono podstawowe charakterystyki niezawodności dla rozkładu zmiennej losowej. Analizę poszerzono o teoretyczny rozkład Weibulla otrzymany z *Analizy Weibulla niezawodności/czasu uszkodzeń* programu Statistica. Zestawiono ze sobą wyniki otrzymane dla dwóch rozkładów, empirycznego i teoretycznego.

W rozdziale siódmym pt. „Analiza niezawodności w podejściu teorii zbiorów rozmytych”, opracowano model niezawodności wykorzystujący logikę rozmytą, którego podstawą był regulator rozmyty Mamdaniego w układzie struktura systemu wnioskowania rozmytego – wiele wejść jedno wyjście (*multiple input single output*) MISO. Opierając się na wiedzy eksperckiej, uzyskanej metodą ankietowania, zaprojektowano regulator rozmyty, który na podstawie zadanych sygnałów wejściowych (nalot, nastrzał i stan korozji) wyznacza niezawodność podsystemu uzbrojenia strzeleckiego. Dodatkowo przeprowadzono badania modelowe i symulacyjne pracy układu. W badaniach modelowych wyznaczono niezawodność dla warunków odpowiadających warunkom modelu probabilistycznego, a następnie sprawdzono różne metody defuzyfikacji, oceny przesłanek, a także metody agregacji. Badania symulacyjne miały za zadanie wskazać, w jaki sposób niezawodność będzie kształtowała się

w przypadku wpływu innych czynników, takich jak ilość oddanych strzałów, czy stan korozji elementów uzbrojenia strzeleckiego.

W rozdziale ósmym dotyczącym „Porównania wyników” przedstawiono zestawienie ze sobą wyników szacowanej niezawodności uzyskanej z analizy w podejściu klasycznym z wynikami otrzymanymi z analizy w podejściu zbiorów rozmytych, kończąc pracę przedstawieniem „Wniosków”.

3. OCENA MERYTORYCZNA PRACY

Temat rozprawy doktorskiej podjęty i opracowany przez mgr. inż. Konrada KUŹMĘ uważam za dysertabilny i niezwykle istotny pod względem naukowym i użytecznym.

Podjęta tematyka dotyczy zagadnienia zastosowania logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego. Doktorant realizując pracę założył sobie cele badawcze, które obejmowały analizę niezawodności w podejściu klasycznym, analizę niezawodności w podejściu teorii zbiorów rozmytych oraz porównanie otrzymanych wyników. W pracy po omówieniu i obróbce danych statystycznych (eksploatacyjnych), dokonał analizy niezawodności, wykorzystując klasyczny model probabilistyczny, w którym na podstawie dopasowanego do danych eksploatacyjnych rozkładu Weibulla, wyznaczył podstawowe charakterystyki niezawodności, min. funkcję niezawodności uzbrojenia strzeleckiego. Następnie przeprowadził analizę niezawodności, w podejściu teorii zbiorów rozmytych z wykorzystaniem regulatora rozmytego Mamdaniego, który opracował w programie Matlab® z pakietem Fuzzy Logic Toolbox. Regulator został zaprojektowany przez Doktoranta na podstawie wiedzy eksperckiej, uzyskanej metodą ankietowania. Na podstawie zadanych sygnałów wejściowych w postaci czasu pracy urządzeń (nalot), liczby strzałów (nastraż) oraz stanu korozji urządzeń (korozja) regulator wyznacza niezawodność uzbrojenia strzeleckiego. Wynikiem końcowym było porównanie wyników otrzymanych z dwóch metod: klasycznej i wykorzystującej logikę rozmytą. Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników z niezawodności w podejściu klasycznym i analizy niezawodności w podejściu teorii zbiorów rozmytych Doktorant sformułował następujące wnioski:

1. Istotną grupą przyczynową uszkodzeń uzbrojenia strzeleckiego samolotu TS-11 „Iskra” są procesy zmęczeniowe.
2. Do opracowania modelu niezawodności wykorzystującego logikę rozmytą konieczny jest dostęp do rzetelnej wiedzy eksperckiej.

3. Logika rozmyta daje możliwość wyznaczania niezawodności na podstawie różnych parametrów, a także pozwala na analizę i interpretację zależności pomiędzy wartościami parametrów wejściowych, a niezawodnością.
4. Liczba wystrzałów, jak również nalot korozji na elementach uzbrojenia strzeleckiego ma znaczny wpływ na niezawodność uzbrojenia strzeleckiego.

W oparciu o powyższe wnioski z przeprowadzonej analizy logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego, Doktorant sformułował wnioski o charakterze utylitarnym:

1. Opracowany model niezawodności wykorzystujący logikę rozmytą może być stosowany do oceny niezawodności różnych systemów.
2. Zaprojektowany, w modelu niezawodności wykorzystującym logikę rozmytą, układ regulatora można modernizować poprzez zmianę funkcji przynależności oraz reguł wnioskowania.
3. Po wyposażeniu układu regulatora dodatkowo w interfejs graficzny, narzędzie może być dostępne dla personelu uzbrojenia lotniczego do wyznaczania prawdopodobieństwa uszkodzenia urządzeń uzbrojenia lotniczego.

Reasumując, sformułowane przez Doktoranta wnioski ogólne i utylitarne jednoznacznie potwierdzają postawioną tezę pracy.

Za nowatorskie rozwiązanie Doktoranta w niniejszej pracy należy, uznać opracowanie modelu niezawodności wykorzystującego logikę rozmytą. Poprawność wyznaczania niezawodności tą metodą zweryfikowano wykorzystując klasyczną metodę probabilistyczną. Ponadto metoda wykorzystująca logikę rozmytą ma charakter uniwersalny, dzięki odpowiednio uzyskanej wiedzy eksperckiej może znaleźć zastosowanie w szacowaniu niezawodności różnych systemów technicznych, w tym innych urządzeń lotniczych.

Wyniki pracy mogą zostać wykorzystane w celu zwiększenia bezpieczeństwa lotów, prognozowania niezawodności różnych systemów technicznych, ustalania stanu zapasów części zamiennych czy ustalania harmonogramu obsługi technicznych.

Całość pracy oceniam bardzo pozytywnie. Doktorant w pełni osiągnął zamierzony cel naukowy i utylitarny.

4. UWAGI KRYTYCZNE

Uwagi krytyczne do rozprawy doktorskiej:

- 1) W mojej ocenie za mało miejsca doktorant poświęcił analizie statystycznej powstawania uszkodzeń. Wprawdzie wskazał procentowy udział (ponad 70%) uszkodzeń spowodowanych procesami zmęczeniowymi i nadmiernymi drganiami, ale tak naprawdę nie wskazał skąd ten procentowy udział wynika. Celowym byłoby bliższe wyjaśnienie przyczyn powstawania uszkodzeń na samolotach próby reprezentatywnej.
- 2) W modelu niezawodności wykorzystującym logikę rozmytą zaprojektowano sterownik rozmyty wykorzystujący trójkątne i trapezoidalne funkcje przynależności dla sygnałów wejściowych i sygnału wyjściowego. Czy Doktorant analizował zastosowanie innych rodzajów funkcji przynależności?
- 3) W rozprawie Doktorant zamieścił jako załącznik ankietę, na podstawie której uzyskano wiedzę ekspercką. Wydaje się, że w pracy powinno znaleźć się zestawienie udzielanych przez poszczególnych ekspertów odpowiedzi. W mojej opinii, w znaczący sposób, wzbogaciłoby to dysertację.

W zakończeniu stwierdzam, że wniesione przeze mnie uwagi i zastrzeżenia nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy jako całości, wymagają jedynie doprecyzowania. Wyrażam nadzieję, że pomogą one Doktorantowi w przygotowaniu publikacji z zakresu tej tematyki badawczej oraz w jej kontynuacji.

5. WNIOSEK KOŃCOWY

W podsumowaniu swojej recenzji stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego zastosowanie logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedstawiona dysertacja wskazuje jednoznacznie na bardzo dobre opanowanie aparatu matematycznego do analizy probabilistycznej modeli niezawodności oraz analizy niezawodności w podejściu teorii zbiorów rozmytych.

Biorąc pod uwagę wartości poznawcze i użytkowe uzyskanych rezultatów, dojrzałość merytoryczną mgr. inż. Konrada KUŹMY w zakresie zastosowania logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego, recenzowaną rozprawę oceniam jako bardzo

dobrą spełniającą ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. **Zasługuje ona na wyróżnienie.** Uzasadnienie wyróżnienia pracy zawarte jest w treści recenzji powyżej.

Przedstawiam Szanownej Radzie Wydziału Lotnictwa Lotniczej Akademii Wojskowej wniosek o przyjęcie rozprawy jako podstawy do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych i dopuszczenie mgr. inż. Konrada KUŹMĘ do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

M. Wozniakowski