

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada KUŹMY

pt. Zastosowanie logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Norbert GRZESIK, prof. nadzw. LAW

Promotor pomocniczy: dr inż. Kamil PRZYBYSZ

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo Dziekana Wydziału Lotnictwa Pana płk. dr. inż. **Roberta CZAPLI** z dnia 27.02.2019 r. realizujące uchwałę Rady Wydziału Lotnictwa Lotniczej Akademii Wojskowej z dnia 26.02.2019 r.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Wraz z rozwojem techniki użytkownik otrzymuje coraz bardziej skomplikowane konstrukcyjnie urządzenia, jako złożone systemy techniczne, których niezawodność jest zależna od bezawaryjnego działania ich poszczególnych zespołów i elementów.

Od systemu uzbrojenia lotniczego, tak jak od każdego systemu technicznego, wymaga się wysokiej niezawodności i jednocześnie dużej skuteczności działania w okresie eksploatacji. Użytkowanie urządzenia związane jest z występowaniem jego niesprawności, a czynniki je powodujące mają charakter losowy i trudny do precyzyjnego określenia. Dodatkowo, przyczyną wystąpienia niesprawności lub awarii urządzenia może być czynnik ludzki w postaci błędu podczas użytkowania. Aby zwiększyć niezawodność eksploatowanych obiektów i zminimalizować liczbę występujących niesprawności stosowane są różnego rodzaju strategie ich obsługi.

Dla eksploatatora obiektu technicznego, a szczególnie, gdy jest to uzbrojenie lotnicze, ważna jest możliwość oceny oddziaływania różnych czynników występujących w eksploatacji na powstawanie jego niesprawności. Możliwość takiej oceny daje model niezawodności systemu uzbrojenia strzeleckiego samolotu wykorzystujący logikę rozmytą.

Dlatego podjęcie przez mgr. inż. Konrada Kuźmę tematu opracowania takiego modelu, który będzie narzędziem do oszacowania niezawodności systemu uzbrojenia strzeleckiego samolotu z uwzględnieniem różnych czynników, należy uznać za trafne, aktualne i potrzebne.

Jest to temat bardzo ważny z praktycznego punktu widzenia, ale zarazem bardzo interesujący i wartościowy pod względem naukowym.

Przedstawiona do recenzji rozprawa wydana została w zwartej formie na 122 stronach i obejmuje 5 logicznie usystematyzowanych głównych rozdziałów, wykaz cytowanej literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Na początku pracy zamieszczono spis oznaczeń, który ułatwia lekturę rozprawy. Spis rysunków i tabel oraz dwa załączniki zamieszczono na końcu pracy.

Bibliografia obejmuje 80 pozycji ze źródeł krajowych i zagranicznych. W wykazie publikacji Doktorant nie zamieścił własnego dorobku naukowego. Myślę, że Doktorant jest autorem lub współautorem wielu opracowań obejmujących tematykę pracy. Sformułowanie celu i zakresu pracy oraz tezy Autor poprzedził krótką analizą stanu wiedzy (Rozdział 2) związanej z tematem rozprawy. W tej części pracy Doktorant wykazuje się bardzo dobrą umiejętnością prowadzenia analizy zgromadzonych materiałów i ich logicznego systematyzowania zmierzając do sformułowania celu pracy. Wśród wielu przykładów zastosowania logiki rozmytej do oceny niezawodności w różnych gałęziach gospodarki Doktorant nie podaje jednak żadnego przykładu ujmującego ten problem w aspekcie uzbrojenia sprzętu strzeleckiego lub innych urządzeń lotniczych. Brak jest też ustosunkowania się Doktoranta do tego faktu w wnioskach z analizy literatury.

Przeprowadzona analiza stanu zagadnienia doprowadziła do sformułowania tezy rozprawy doktorskiej (Rozdział 3) oraz czterech jej celów cząstkowych, z których pierwszy nie do końca ma charakter „celu”, raczej jest to narzędzie do jego osiągnięcia.

W rozdziale czwartym, będącym pierwszym głównym rozdziałem pracy, Doktorant przedstawił charakterystykę wybranego systemu uzbrojenia strzeleckiego samolotu TS-11 „Iskra”. W dalszej części rozdziału omówił podstawy matematyczne teorii zbiorów rozmytych, rozmyte systemy wnioskowania oraz podstawowe pojęcia z teorii niezawodności. Przedmiotem rozważań Doktoranta w rozdziale 5 pracy jest analiza matematycznych metod oceny niezawodności. Przedstawiono metody ekstrapolacji wartości szeregów czasowych oraz modele probabilistyczne prognozowania niezawodności. W kolejnym rozdziale pracy Doktorant przedstawił analizę niezawodności w podejściu klasycznym. Na podstawie danych statystycznych o uszkodzeniach uzyskanych z systemu informatycznego za lata 2014-2018 na próbie reprezentatywnej 30 samolotów TS „Iskra” wykazano, że same uszkodzenia podsystemu uzbrojenia strzeleckiego stanowią znaczny udział (50-100%) wszystkich uszkodzeń uzbrojenia strzeleckiego samolotu. Wskazuje to na poważny problem eksploatacyjny tego zespołu, którego przyczyną mogą być wady konstrukcyjne urządzenia, nieprzestrzeganie zasad użytkowania lub oddziaływanie czynników zewnętrznych. Dlatego też Doktorant opracował probabilistyczny model niezawodności podsystemu uzbrojenia strzeleckiego przyjmując czas do wystąpienia uszkodzenia w postaci nalotu liczonego w godzinach. Przedmiotem rozważań Doktoranta w rozdziale 7 pracy jest analiza niezawodności w podejściu teorii zbiorów rozmytych. Doktorant opracował projekt modelu rozmytego w oparciu o wiedzę ekspercką. W tym celu opracował ankietę i przeprowadził badania na grupie 5 specjalistów posiadających, co najmniej 5-letnie doświadczenie w pracy na sprzęcie. W projektowanym modelu przyjęto trzy sygnały wejściowe mające wpływ na niezawodność uzbrojenia strzeleckiego: nalot, nastrzał oraz korozję. Pierwszy etap badań modelowych polegał na wyznaczeniu funkcji niezawodności systemu uzbrojenia

strzeleckiego i porównaniu wyników z funkcją niezawodności uzyskaną z klasycznego modelu matematycznego. W drugim etapie przeprowadzono wielowariantowe badania modelu wprowadzając kolejno, jako dane wejściowe liniowo zwiększający się: nalot (czas pracy urządzenia), nastrzał (liczba strzałów) i korozja przy ustalonych wartościach pozostałych dwóch sygnałów.

Opracowany na podstawie badań eksploatacyjnych, klasyczny model probabilistyczny niezawodności uzbrojenia strzeleckiego (rozkład empiryczny oraz teoretyczny Weibulla) i wyznaczone na jego podstawie wskaźniki porównano z wynikami niezawodnościowymi modelu wykorzystującego logikę rozmytą, wykazując tym samym nieznaczne różnice mieszczące się w przedziale ufności 95%.

3. Ocena merytoryczna

Po lekturze przedstawionej do oceny pracy, stwierdzam, że mgr inż. Konrad Kuźma podjął się i rozwiązał trudne zadanie polegające na opracowaniu modelu niezawodności wybranego systemu uzbrojenia lotniczego, który pozwoli oceniać oddziaływanie różnych czynników eksploatacyjnych mających wpływ na powstawanie niesprawności. Zaproponowany model może być wykorzystany także do oceny niezawodności podobnych urządzeń technicznych i innych urządzeń lotniczych, co pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa lotów.

Praca zawiera szereg wyników poznawczych, które stanowią nowe autorskie opracowania Doktoranta i mogą być włączone do praktyki warsztatowej np.: w zakresie ustalania harmonogramu obsługiwań technicznych.

Najważniejsze osiągnięcia pracy:

- Doktorant podjął się i rozwiązał zadanie naukowe polegające na opracowaniu oryginalnego modelu numerycznego wykorzystującego logikę rozmytą do oceny niezawodności systemu uzbrojenia lotniczego oraz innych systemów, bez konieczności znajomości rozbudowanego aparatu matematycznego.
- Poprawność wyznaczania niezawodności tą metodą Doktorant zweryfikował wykorzystując klasyczną metodę probabilistyczną.
- Doktorant opracował metodykę wielowariantowej analizy numerycznej do oceny wpływu różnych czynników na niezawodność systemów uzbrojenia lotniczego.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej.

Wykonane badania potwierdziły podstawową tezę rozprawy, że istnieje możliwość zastosowania logiki rozmytej do budowy modelu niezawodności wybranego systemu uzbrojenia lotniczego oraz wykorzystania tego modelu do oceny oddziaływania różnych czynników na powstawanie niesprawności urządzenia. Plusem pracy są propozycje Doktoranta w obszarze przewidywanych dalszych niezbędnych prac badawczych i aplikacyjnych. Realizowana praca pozwoliła Doktorantowi na pogłębienie wiedzy w zakresie niezawodności urządzeń i logiki rozmytej, którą zapewne wykorzysta do dalszej pracy naukowo-badawczej.

4. Uwagi krytyczne do rozprawy doktorskiej

Autor nie ustrzegł się jednak błędów, wynikających głównie z nieprecyzyjnych i niepełnych opisów, które wynikają z małego doświadczenia w prowadzeniu prac badawczych oraz opisu zjawisk. Uwagi krytyczne przedstawione poniżej mają raczej charakter dyskusyjny lub wymagają wyjaśnienia przedstawionych tez.

- 1) Doktorant używa określenia „...badania modelowe i symulacyjne ...”. Celowym byłoby bliższe wyjaśnienie różnic tych dwóch pojęć.
- 2) Jednym z przyjętych sygnałów wejściowych (czynników zewnętrznych) do modelu jest korozja. Brak jest informacji, co do rodzaju i miejsca występowania korozji oraz uzasadnienia jej wyboru, jako czynnika mającego znaczący wpływ na niezawodność uzbrojenia strzeleckiego. Jaki procent uszkodzeń zarejestrowanych w latach 2014-2018 z poszczególnych zespołów samolotów spowodowany był korozją. Brak jest wyjaśnienia pojęcia „poziom korozji”. Jaką metodą określano wartość korozji. Co oznacza poziom korozji, np.: 0,05 mm.
- 3) Na jakiej podstawie Doktorant stwierdził, że „... ponad 70% uszkodzeń podzespołów uzbrojenia strzeleckiego spowodowana była zmęczeniem materiałowym i nadmiernymi drganiami ...”. Jak rozumieć pojęcie „nadmierne drgania” – str. 68, 4wd.
- 4) Brak bliższych danych odnośnie stanu technicznego 30 samolotów TS-11 „Iskra” przyjętych, jako próba reprezentatywna. Jaka liczba strzałów oddana była z działka poszczególnych samolotów?.
- 5) Jakie były kryteria doboru ekspertów. Czy wyniki ankiet tylko od 5 ekspertów są wystarczające do odpowiedniego wnioskowania. Co jest to „... rzetelna wiedza ekspercka”, o której Doktorant mówi we wnioskach końcowych.
- 6) Doktorant zamieścił tylko wzór opracowanej ankiety. Bardziej interesujące byłyby wypełnione ankiety przez anonimowych ekspertów.

5. Uwagi redakcyjne

Układ pracy jest logiczny, język rozprawy zrozumiały. Przyjęta koncepcja pracy oraz metody rozwiązywania poszczególnych jej elementów są prawidłowe. Praca jest napisana w sposób komunikatywny i przejrzysty, z użyciem poprawnych terminów i symboli. Zastosowanie spisu oznaczeń znacznie poprawia czytelność pracy. Literatura właściwie dobrana i wykorzystana w tekście. Występują jednak pozycje z niepełnym opisem, np.: [22], [25] oraz brak konsekwencji w podawaniu numeru tomu, numeru czasopisma i zakresu stron. Wnioski końcowe ogólne spójne z wykonaną pracą, ale są mało przekonujące i na wyrost oraz nie odzwierciedlają dużego nakładu pracy włożonej przez Doktoranta w rozwiązanie problemu naukowego.

Autor nie ustrzegł się jednak pewnych błędów stylistyczno-redakcyjnych, które nie obniżają wartości merytorycznej pracy, a mianowicie:

- 1) Brak jest podsumowań po głównych rozdziałach pracy, które pozwoliłyby zachować ciąg myślowy dla czytającego.
- 2) Brak nazw wielkości oraz ich jednostek na osiach wielu wykresów, np.: rysunki 7.13÷7.24.
- 3) Brak legendy prezentowanych na rysunkach wielkości, np.: rys. 7.18 i 7.24.
- 4) Przyjęta zasada numeracji wzorów jest inna niż numeracji rysunków i tabel.

- 5) Postać równania liniowego przedstawiona na rys. 6.7 wymaga weryfikacji opisu i uzupełnienia o współczynnik korelacji.
 - 6) Powoływanie się na zależności, tabele i wykresy bez podawania pozycji z wykazu literatury.
 - 7) Powinno być: „masa”, a nie „ciężar”, ciśnienie w Pa, a nie w kg/cm^2 – Tabela 4.2.
 - 8) Tabela 4.5 nie została zacytowana ze wskazanej literatury: [12] Bobrowski D. (1985) Modele i metody matematyczne teorii niezawodności, w przykładach i zadaniach. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa. Na stronie 10 wskazanej pozycji literaturowej jest tabela, ale o innym zestawieniu danych.
 - 9) Doktorant niefortunnie używa pojęcia „ciężko” – „Ciężko jest znaleźć ...”. Powinno być raczej „trudno”, np.: str. 48.
 - 10) Zapis iloczynu Einsteina (Tabela 4.4) jest niepełny – brakuje nawisu w mianowniku.
 - 11) Niecelowe jest podawanie ośmiu znaczących cyfr po przecinku, np.: Tabela 6.4.
- Pozostałe drobne uwagi redakcyjne przekazałem doktorantowi osobiście.

6. Wniosek końcowy

Wymienione w recenzji wątpliwości nie obniżają wartości merytorycznej pracy, którą uważam za interesującą, zarówno z poznawczego punktu widzenia, jak również przydatną do celów użytkowych. Autor uzyskał ciekawe wyniki pracy, co ważne, w oparciu o rzeczywiste dane pozyskane z procesu eksploatacji. Praca stanowi dobry przykład zastosowania nowoczesnych metod naukowych do rozwiązywania problemów występujących w procesie eksploatacji maszyn.

Uważam, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie naukowej budowa i eksploatacja maszyn, a także dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia przez Niego pracy naukowej.

Stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Konrada Kuźmy pt. **„Zastosowanie logiki rozmytej do oceny niezawodności systemów uzbrojenia lotniczego”** spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z dnia 14 marca 2003 roku) i wnioskuję o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

