

Dr hab. inż. Adam Rosiński, prof. uczelni  
Politechnika Warszawska  
Wydział Transportu  
ul. Koszykowa 75  
00-662 Warszawa

Warszawa, 08.02.2021 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mjra mgra inż. Mariusza Michalskiego**  
**pt. Metoda oceny niezawodności wybranych lotniczych maszyn komutatorowych**

**1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Kierownika Sekretariatu Naukowego Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych dra inż. Grzegorza Kowalczyka, prof. ITWL z dnia 8 stycznia 2021 r. o powołaniu na recenzenta rozprawy doktorskiej mjra mgra inż. Mariusza Michalskiego (zgodnie z powołaniem przez Radę Naukową Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w dnia 26 listopada 2020 r. recenzentów rozprawy doktorskiej mjra mgra inż. Mariusza Michalskiego pt. „Metoda oceny niezawodności wybranych lotniczych maszyn komutatorowych”).

Recenzowana rozprawa doktorska z obszaru nauk inżynieryjno-technicznych (dyscyplina inżynieria mechaniczna) została wykonana w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych pod kierunkiem naukowym Promotora płk dra hab. inż. Mariusza Ziei, prof. ITWL i Promotora pomocniczego dr Justyny Tomaszewskiej.

**2. Treść i zakres rozprawy doktorskiej**

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 246 stron. Składa się z: wykazu ważniejszych oznaczeń, skrótów i symboli, spisu treści, streszczenia (w wersji polskiej i angielskiej), wstępu, ponumerowanych rozdziałów (w tym m.in. tezy naukowej, celu i zakresu pracy), podsumowania, wykazu tabel i rysunków, dwóch załączników i literatury. Układ pracy nie budzi istotnych zastrzeżeń, a sformułowana teza naukowa jest spójna i logiczna.

Na początku rozprawy doktorskiej Autor we wstępie przedstawił problematykę eksploatacji statków powietrznych, które to charakteryzują się dużym stopniem złożoności. W celu zapewniania niezawodności i bezpieczeństwa lotów statków powietrznych stosuje się w ich konstrukcji nadmiarowe struktury niezawodnościowe. Jednocześnie też planuje się czynności obsługowe (tj. przeglądy, prace okresowe, naprawy planowe). Doktorant słusznie



stwierdza, że „głównym zadaniem tych prac było wykrycie i usunięcie niesprawności i innych usterek technicznych przed dopuszczeniem statku powietrznego do lotu”. Jednocześnie też trwają prace nad racjonalizacją procesu eksploatacyjnego statków powietrznych poprzez dobór systemów eksploatacyjnych do określonych obiektów. W tym zakresie są to systemy: planowo-zapobiegawczy (według resursu), zapobiegawczy (według stanu technicznego), eksploatacji według poziomu niezawodności. Słusznie stwierdzono, że wymienione działania są stosowane w praktyce eksploatacyjnej statków powietrznych i dąży się do ich optymalnego stosowania.

Następnie w rozdziale „Lotnicze maszyny komutatorowe” Autor przybliżył zagadnienia dotyczące urządzeń osprzętu lotniczego stanowiących źródła energii elektrycznej statku powietrznego. Zwrócił szczególną uwagę na właściwości pokładowych prądnic prądu stałego, prądu przemiennego i pokładowych prądnic-rozruszników. Bardzo istotną częścią tego rozdziału jest podrozdział „Analiza zdarzeń lotniczych charakteryzujących niezawodność i bezpieczeństwo lotów śmigłowca SW-4”. W tym celu zostały wykorzystane dane z lat 2007-2017, dzięki którym można było dokonać statystycznej analizy liczby uszkodzeń w poszczególnych zespołach śmigłowca SW-4. W podsumowaniu stwierdzono, że zaistniała liczba zdarzeń lotniczych jest dość duża. Doktorant słusznie stwierdził, że z punktu widzenia bezpieczeństwa lotów statków powietrznych istotnym problemem jest niesprawność maszyn komutatorowych wynikająca z procesów starzenia i zużywania, które mają szczególnie niekorzystny wpływ na pracę tych urządzeń.

Rozdział trzeci zawiera tezę naukową, cel i zakres pracy. W wyniku przeprowadzonych w poprzednich rozdziałach rozważań Doktorant sformułował następującą tezę:

*Metoda oceny niezawodności i trwałości lotniczych maszyn komutatorowych umożliwia ich racjonalną eksploatację według stanu technicznego.*

Cele podane przez Doktoranta wpisują się w aktualną problematykę prac naukowych nad racjonalizacją procesu eksploatacyjnego statków powietrznych. Zatem działania podjęte przez Autora należy uznać za zasadne i potrzebne.

W rozdziale czwartym zamieszczono rozważania dotyczące probabilistyczny modeli opisu niezawodności i trwałości urządzeń lotniczych. Przybliżono zarówno aspekty teoretyczne m.in. funkcji niezawodności, jak i struktur niezawodnościowych (typu szeregowego, równoległego, mieszanego). Doktorant słusznie stwierdza, że wnioskowanie o rozkładzie niezawodności i trwałości lotniczych maszyn komutatorowych przy niepełnej bazie danych pozyskanych z procesów zużywania i starzenia jest zadaniem dość trudnym.

Następnie w rozdziale „Eksploatacja lotniczych maszyn komutatorowych i badanie mikroskopowe szczotek” Autor zawarł informacje z zakresu procesów starzenia tych urządzeń.



Podał przyczyny uszkodzeń łożysk, jak i przyczyny zużycia szczotek lotniczych maszyn komutatorowych. Bardzo istotną częścią tego rozdziału jest analiza procesu eksploatacji lotniczych maszyn komutatorowych występujących na śmigłowcu SW-4 (w tym prądorozrusznika typu 200SGL129Q). Doktorant zwrócił słuszną uwagę na rozbieżności dotyczące okresu kontroli zużycia długości szczotek. Stało się to przyczynkiem wytypowania prądorozrusznika do badań w celu określenia jego niezawodności i trwałości.

Rozdział szósty poświęcony jest badaniu zużycia szczotek lotniczych maszyn komutatorowych. Autor opisał metodę obliczania zużycia szczotek prądorozrusznika. Następnie na podstawie danych z 10 prądorozruszników eksploatowanych w latach 2007-2017 wyznaczył zależność zmian wartości długości poszczególnych szczotek w prądorozruszniku w funkcji czasu. Zostało to przedstawione w formie graficznej (rys. 6.4 i 6.5), co ułatwia czytelnikowi zapoznanie się z opisywanymi zagadnieniami. Bardzo istotną informacją podaną przez Doktoranta jest fakt, iż stwierdził że „szczotka po przepracowaniu większej liczby godzin ma eksploatacyjną długość większą lub równą w porównaniu do eksploatacyjnej długości zmierzonej w poprzedniej obsłudze. Błąd pomiaru długości szczotki podczas obsługi może wynikać z trudności pomiarowych”. Jest to istotne, gdyż analiza rys. 6.4 i 6.5 przez czytelnika może wzbudzić pewien niepokój co do prawidłowości zawartych tam danych.

W rozdziale siódmym zamieszczono zagadnienia dotyczące niezawodność i trwałość lotniczych maszyn komutatorowych. Przybliżono aspekty matematyczne z zakresu wyznaczenia funkcji gęstości zmian parametru diagnostycznego korelacyjnego od czasu eksploatacji oraz wyznaczenia rozkładu czasu przekraczania stanu granicznego. Zostaną one wykorzystane w dalszych rozważaniach naukowych zawartych w rozprawie doktorskiej. Ta część rozprawy jest dobrze zrealizowana i jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia modelowania teoretycznego.

Rozdział ósmy zawiera obliczenia z zakresu szacowania trwałości prądorozrusznika typu 200SGL129Q. W tym celu Doktorant zastosował: estymacje parametrów rozkładu prawdopodobieństwa z wykorzystaniem funkcji wiarygodności, funkcje gęstości czasu pierwszego przejścia wartości narastającego parametru diagnostycznego przez stan graniczny do oszacowania niezawodności i trwałości, szacowanie trwałości resztkowej z wykorzystaniem funkcji gęstości czasu pierwszego przejścia wartości narastającego parametru diagnostycznego przez stan graniczny. Stosując podany aparat matematyczny wyznaczył dla wszystkich dziesięciu analizowanych prądorozruszników zależności: zmiany długości szczotek w funkcji czasu eksploatacji, niezawodność szczotek prądorozrusznika w funkcji czasu eksploatacji, funkcje gęstości czasu przekraczania stanu granicznego przez parametr diagnostyczny



w funkcji czasu eksploatacji. Następnie korzystając z metody najmniejszych kwadratów wyznaczył teoretyczną długość szczotek po czasie eksploatacji prądorozrusznika wynoszącym 1000 godzin, jak też określił teoretyczny bezpieczny czas eksploatacji szczotki prądorozrusznika, kiedy osiągnie ona wartość graniczną jaką jest eksploatacyjna długość szczotki wynosząca 12,125 mm. Ta część rozprawy jest bardzo dobrze zrealizowana i jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia możliwości praktycznego zastosowania.

W rozdziale dziewiątym Doktorant zawarł rozważania z obszaru szacowania niezawodności i trwałości łożysk prądorozrusznika typu 200SGL129Q. Uwzględnił profilu lotu śmigłowca SW-4, co jest słuszne. W tym celu wykorzystał dane z rejestratora lotu śmigłowca. W wyniku przeprowadzonych analiz i obliczeń zobrazowano na rys. 9.6 funkcje niezawodności dla łożysk prądorozrusznika typu 200SGL129Q.

Jednym z istotniejszych w rozprawie doktorskiej jest rozdział dziesiąty pt. „Weryfikacja i modyfikacja systemu obsługiwanego prądorozrusznika w aspekcie uzyskanych wyników”. Dotychczas stosowane równoległe strategie eksploatacji statków powietrznych (z planowanymi pracami profilaktycznymi (wg resursu), według stanu z kontrolowaniem parametrów diagnostycznych (wg stanu technicznego), z kontrolowaniem poziomu niezawodności (wg niezawodności)) charakteryzują się określonymi zaletami i wadami. Zatem słusznie Doktorant opracował autorską metodę, która ma na celu poprawę procesu eksploatacyjnego prądorozrusznika 200SGL129Q. Przeprowadzona analiza wykazała słuszność rozważań naukowych zawartych w rozprawie doktorskiej, a tym samym celowość podjętej tematyki. Jest to ważne z punktu widzenia praktycznego wdrożenia opracowanej metody. Koncepcje badań i uzyskane wyniki należy uznać za znaczący wkład Doktoranta w rozważanym obszarze badawczym.

W rozdziale jedenastym zamieszczono wnioski, które są prawidłowe. Doktorant prawidłowo interpretuje wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych badań. Słusznie stwierdza celowość postawionej tezy naukowej rozprawy doktorskiej. Przeprowadzone rozważania dotyczące m.in. analizy niezawodności i bezpieczeństwa śmigłowca SW-4 w ujęciu statystycznym, analizy systemu eksploatacji maszyn komutatorowych występujących na śmigłowcu SW-4, identyfikacji procesów starzenia maszyn komutatorowych, wyznaczenia matematycznego modelu niezawodności i trwałości szczotek maszyn komutatorowych na podstawie funkcji gęstości czasu przejścia parametru diagnostycznego przez stan graniczny, wyznaczenia matematycznego modelu niezawodności i trwałości łożysk maszyn komutatorowych na podstawie rzeczywistego profilu temperaturowego dla śmigłowca SW-4



potwierdziły postawioną tezę. W dalszej części wniosków podano potencjalne obszary zastosowania opracowanych modeli i metody.

Następnie zamieszczono wykaz tabel i rysunków, załączniki 1 (obliczenia numeryczne niezawodności i trwałości szczotek) i 2 (zestawienie liczbowe średniej wysokości lotu oraz średniej temperatury lotu śmigłowca SW-4) oraz literaturę (117 pozycji typu monografie, artykuły, publikacje konferencyjne, polskie i zagraniczne). Dobór pozycji bibliograficznych jest trafny, a sposób cytowania prawidłowy. Doktorant wykazał się umiejętnością doboru literatury naukowej, niezbędnej do opracowania tematu rozprawy doktorskiej.

Rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem z użyciem prawidłowego słownictwa i terminologii technicznej z omawianego obszaru.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

Realizacja zadań przewozowych i działań operacyjnych wymaga by statki powietrze cechowały się odpowiednim poziomem niezawodności i bezpieczeństwa realizacji zadań lotniczych. Problematyka ta jest ważna nie tylko w transporcie lotniczym, ale również w transporcie drogowym czy kolejowym, jednakże dla statków powietrznych nabiera ona szczególnego znaczenia. Obecnie wdrażane są nowe materiały i rozwiązania konstrukcyjne, ale jednak to podejście niezawodnościowo-eksploatacyjne umożliwia podejmowania określonych działań obsługowych. Zatem słusznie Autor zwrócił uwagę na stosowane systemy eksploatacyjne (planowo-zapobiegawczy (według resursu), zapobiegawczy (według stanu technicznego), eksploatacji według poziomu niezawodności) statków powietrznych. Zatem rozprawa doktorska pt. „Metoda oceny niezawodności wybranych lotniczych maszyn komutatorowych” wpisuje się w obecne działania środowisk badawczych (uczelniach, instytutowych i przemysłowych). Autor słusznie stwierdził, że wykorzystując określony aparat matematyczny i dokonując właściwej oceny eksploatacji w oparciu o naukowe metody i wskaźniki można wyznaczyć racjonalny model eksploatacji. Przeprowadzona analiza stanu zagadnienia i statystyczna analiza liczby uszkodzeń w poszczególnych zespołach śmigłowca SW-4 umożliwiła sformułowanie tezy naukowej rozprawy doktorskiej i zakresu pracy.

W podrozdziale „6.3. Metoda obliczania zużycia szczotek prądorozrusznika” podano, że *„W analizowanych danych stwierdzono, że szczotka po przepracowaniu większej liczby godzin ma eksploatacyjną długość większą lub równą w porównaniu do eksploatacyjnej długości zmierzonej w poprzedniej obsłudze. Błąd pomiaru długości szczotki podczas obsługi może wynikać z trudności pomiarowych”*. Jakie działania należało by podjąć by zminimalizować tego rodzaju błędy pomiarowe?



W podrozdziale „8.2. Estymacja parametrów rozkładu prawdopodobieństwa z wykorzystaniem funkcji wiarygodności” Autor podaje iż „Najlepszą metodą do wyznaczenia parametrów rozkładu prawdopodobieństwa  $a$  i  $b$  będzie wykorzystanie funkcji wiarygodności”. Na podstawie jakich badań/przesłanek to stwierdzono? Wydaje się, że korzystne byłoby rozwinięcie tego zagadnienia.

W podrozdziale „8.3. Zastosowanie funkcji gęstości czasu pierwszego przejścia wartości narastającego parametru diagnostycznego przez stan graniczny do oszacowania niezawodności i trwałości” Autor przyjął dopuszczalną wartość  $R_i^*(t)$  jako 0,9. Czy wartość ta jest odpowiednia dla lotniczych maszyn komutatorowych? Jak wpłynie zwiększenia wartości  $R_i^*(t)$  na dopuszczalny czas eksploatacji szczotek prądorozrusznika?

W podrozdziale „9.2. Obliczanie niezawodności i trwałości łożysk prądorozrusznika typu 200SGL129Q na podstawie profilu lotu śmigłowca SW-4” również przyjęto wartość  $R(t)=0,9$  podczas wyznaczania trwałości łożysk prądorozrusznika. Czy wartość ta jest odpowiednia dla lotniczych maszyn komutatorowych (łożysk prądorozrusznika)?

W rozprawie doktorskiej zaprezentowano autorskie rozważania z zakresu metod prognozowania niezawodności i trwałości lotniczych maszyn komutatorowych (a dokładniej prądorozrusznika). Przeprowadzone obliczenia są dokładnie opisane, zaś wyniki które uzyskano są dość obszerne. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż zostały one precyzyjnie przedstawione w formie graficznej, przyjaznej dla czytelnika. W przyszłości można by opracować aplikację komputerową, zwłaszcza, że Autor podaje w podsumowaniu, iż „metoda prognozowania niezawodności i trwałości oraz opracowane modele matematyczne na podstawie procesów starzenia lotniczych maszyn komutatorowych mogą mieć zastosowanie w eksploatacji wojskowych i cywilnych statków powietrznych oraz znaleźć zastosowanie w transporcie i logistyce”. Znacząco ułatwiło by to zastosowanie przedstawionych rozważań w praktyce. Jednocześnie też zapewne posłużyło by w dalszych badaniach i projektach.

#### **4. Uwagi ogólne i szczegółowe**

Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-praktyczny. Do wykonania jej niezbędna była bardzo dobra znajomość zagadnień związanych z transportem lotniczym, a w szczególności z lotniczymi maszynami komutatorowymi. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż dla przedstawionych rozważań Autor widzi praktyczne zastosowanie w ramach racjonalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych. Cenna jest inicjatywa Autora by opracowaną

autorską metodę zaimplementować do procesu eksploatacyjnego prądorozrusznika typu 200SG129Q.

Rozprawa doktorska jest napisana w dużej części językiem komunikatywnym. Rysunki są czytelne i estetycznie wykonane. Strona edycyjna pracy reprezentuje dobry poziom i świadczy o znajomości techniki składu komputerowego. Drobnym mankamentem są nieliczne błędy edytorskie, ale nie wpływają one znacząco na odbiór treści merytorycznej przez czytelnika. Są to m.in.:

niejasność interpretacji wypowiedzi, np.:

- s. 47: „Trwałość układu  $T_{SSR}$  zależy od trwałości  $T_j$  najsłabszego elementu, a trwałość każdego  $j$ -tego zespołu zależy od trwałości jego najmocniejszego elementu.”,
- s. 63: „Pompa paliwowa po włączeniu wyłącznika POMPA PALIWOWA prąd stały o napięciu 28V z szyny 2450 przez bezpiecznik samoczynny POMPA PALIWOWA podawany jest na zaciski elektryczne pompy paliwowej.”,
- s. 67, wzór 6.1,
- s. 94, 13 wiersz od góry,

błędy literowe, np.:

- s. 36, rys. 2.7: „Przyrządy kontrli instalacji”,
- s. 134, 135, rys. 8.32-8.35: „szczotrki”
- s. 174, rys. 8.82: „szczotrki”,
- s. 234, 6 wiersz od góry,

inne, np.:

- rysunki 8.32-8.35 ... 8.77-8.81 mają odpowiednio identyczne nazwy,
- rysunki 8.82-8.91 mają identyczne nazwy,
- tabele 8.12-8.21 mają identyczne nazwy.

## **5. Wniosek końcowy**

Mając na uwadze powyższą ocenę zawartości rozprawy doktorskiej mgra mgra inż. Mariusza Michalskiego pt. „Metoda oceny niezawodności wybranych lotniczych maszyn komutatorowych” stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Uważam, że Doktorant wykazał się w swojej rozprawie doktorskiej umiejętnością zaplanowania i rozwiązania postawionego problemu badawczego.

Opiniowaną rozprawę doktorską oceniam jako spełniającą wymagania określone Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach

i tytule w zakresie sztuki z późn. zmianami oraz **wnioskuje o przyjęcie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

A. Rosiński

.....  
dr hab. inż. Adam Rosiński, prof. uczelni