

Dr hab. inż. Magdalena Trzos, prof. nzw. ITeE-PIB
Instytut Technologii Eksploatacji –
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Pułaskiego 6/10
26-600 Radom

Radom, 08.03.2016

RECENZJA

Pracy doktorskiej mgr inż. Leszka Tomczewskiego
pt. „Charakterystyki statyczne łożysk ślizgowych ze śrubowym rowkiem na czopie”

Podstawa opracowania:

Podstawę opracowania recenzji stanowiła decyzja Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 10.02.2016 r. przedstawiona pismem Prodziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej (znak: RM-530-01-02-2016).

Ocena tematyki rozprawy oraz zakresu podjętych prac

Tematyka pracy skupia się na aktualnym problemie poszukiwania rozwiązań ukierunkowanych na zwiększanie niezawodności i trwałości maszyn poprzez ograniczenie zużycia elementów par trących. Tematyka podjęta w pracy nie jest tematyką nową nie mniej jednak zarówno kształtowanie elementów trących, jak również dobór materiałów oraz sposobów smarowania stanowią bardzo istotne obszary badawcze o dużym potencjale rozwojowym. Autor zakresem swoich badań objął problemy związane z eksploatacją łożysk ślizgowych stanowiących istotny element urządzeń technicznych. Wymagana jest od nich zarówno duża wytrzymałość obciążeniowa, jak również ograniczone zużycie w czasie eksploatacji. Jednym z głównych mechanizmów zużyciowych w tego typu połączeniach tarciovych jest zużycie ściernie wspomagane cząstkami stałymi będącymi produktami zużycia. W przeprowadzonych w ramach pracy badaniach Autor wykorzystał doświadczenia innych badaczy w kształtowaniu czopa łożyska ślizgowego poprzez naniesienie rowka odprowadzającego ze strefy tarcia, znajdujące się w oleju, zanieczyszczeń, jednocześnie z zachowaniem prawidłowego procesu smarowania. Głównym problemem jaki Autor postawił do rozwiązania był dobór parametrów rowka, którego naniesienie na czop łożyska nie spowoduje istotnego zmniejszenia nośności a jednocześnie zapewni zmniejszenie zużycia łożyska.

Autor zaplanował i zrealizował szeroki zakres prac, którym objął zarówno analizy dostępnych informacji związanych z przedmiotem podjętych badań, jak również zagadnienia modelowania, symulacji komputerowej dostarczającej obszernej bazy informacji na temat charakterystyk projektowanych łożysk ślizgowych oraz badań eksperymentalnych na specjalnie skonstruowanym stanowisku testowym. Przeprowadził w ten sposób proces modelowania, począwszy od budowy modelu teoretycznego aż do jego weryfikacji w badaniach eksperymentalnych.

Charakterystyka zawartości rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska liczy ogółem 172 strony, obejmuje 8 numerowanych rozdziałów oraz wstęp, bibliografię i 18 załączników przedstawiających obliczenia i ilustracje wyników przeprowadzonych symulacji.

W rozdziale 1 przedstawiono ogólne zagadnienia dotyczące łożysk ślizgowych, w tym podstawowe ich charakterystyki, opisano uszkodzenia łożysk powodowane zużyciem tribologicznym.

Rozdział 2 zawiera przegląd stanu wiedzy głównie dotyczący wpływu zanieczyszczeń na procesy zużycia elementów łożyska ślizgowego oraz poszukiwania rozwiązań konstrukcyjnych wpływających na zmniejszenie zużycia.

W rozdziale 3 zatytułowanym „Teza, cele pracy i plan badań” Autor przedstawił następującą hipotezę naukową: „Istnieje możliwość dobrania takiej geometrii śrubowego rowka na czopie łożyska ślizgowego, która przy efektywnym ograniczeniu zużycia w przypadku zanieczyszczeń oleju twardymi cząstkami, nie będzie wywierała znaczącego negatywnego wpływu na jego pozostałe charakterystyki, a w szczególności na nośność”. Hipoteza została sformułowana w sposób mało precyzyjny, co wyjaśniam w uwagach krytycznych.

W rozdziale 4 opisano przyjęty model łożyska ślizgowego, przedstawiono opis matematyczny przepływu oleju w łożysku ślizgowym z wykorzystaniem równania Naviera–Stokesa, równań ciągłości przepływu oraz równania energii. Zależność gęstości oraz lepkości oleju od temperatury została wyznaczona eksperymentalnie. Autor przedstawił warunki brzegowe, przyjęte założenia oraz metodę numerycznego rozwiązania przyjętego modelu. Szczegółowo opisał sposób rozwiązania równań modelu matematycznego z zastosowaniem oprogramowania ANSYS.

W rozdziale 5 Autor przedstawił stanowisko badawcze zastosowane do weryfikacji eksperymentalnych obliczeń numerycznych. Stanowisko zostało wyposażone między innymi w „momentometr do pomiarów momentu tarcia”, umożliwia rejestrowanie temperatury oleju zasilającego i otoczenia, obciążenia łożyska, prędkości obrotowej wału, wydatek oleju. Łożysko ślizgowe zostało wyposażone w 22 czujniki temperatury oraz 2 czujniki ciśnienia. Do rejestracji oraz wizualizacji sygnałów wykorzystano systemy komputerowe.

Rozdział 6 zatytułowany „Metodyka badań” został podzielony na podrozdziały „6.1 Weryfikacja metody rozwiązania równań przepływowych” oraz „6.2 Numeryczna symulacja przepływu”. Podrozdział 6.1 nie przedstawia „weryfikacji metody...” a raczej metodę weryfikacji, jego główne elementy to przedstawienie przedmiotu badań oraz sposobu jego zamodelowania. Przedstawione rozmieszczenie czujników na panewce dotyczy wyłącznie czujników temperatury, podczas gdy opisane wcześniej stanowisko badawcze umożliwiało zamieszczenie również czujników ciśnienia (rys.5.4).

W rozdziale 7 zostały przedstawione wyniki badań, Autor przytoczył wyniki badań intensywności zużywania czopa w zależności od parametrów rowka, wyniki zostały przedstawione w formie graficznej z zaznaczeniem najmniejszej uzyskanej intensywności. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono sposób doboru siatki elementów skończonych filmu olejowego, ze szczegółową analizą wpływu zagęszczania siatki na zmiany wyniku obliczeń charakterystyk. Autor przedstawił modele filmu dla łożyska gładkiego oraz łożyska z rowkiem, przeprowadził analizę jakości przyjętych modeli wyznaczonych metodą objętości skończonych. Następnie przedstawił wyniki obliczeń charakterystyk różnych wariantów (dla różnych parametrów rowka naniesionego na czopie) łożyska ślizgowego.

Wpływ parametrów rowka na wybrane charakterystyki łożyska został zilustrowany wykresami przestrzennymi.

W kolejnych rozważaniach porównano wpływ parametrów rowka na zmiany nośności i zużycia łożyska. Autor porównywał, dla ustalonych parametrów rowka, zmiany nośności i zużycia łożyska gładkiego oraz łożyska z rowkiem. Na podstawie przeprowadzonych porównań wytypował parametry rowka biorąc pod uwagę możliwie największą nośność łożyska przy jednoczesnym najmniejszym jego zużywaniu. Wytypowany w ten sposób rowek został uwzględniony w dalszych badaniach.

W kolejnym podrozdziale rozdz. 7 została przedstawiona „weryfikacja eksperymentalna modelu”. Autor przedstawił wyniki badań eksperymentalnych łożyska ślizgowego gładkiego oraz łożyska ślizgowego z rowkiem na czopie łożyska. Przeprowadzono serię badań eksperymentalnych przy różnych wartościach prędkości obrotowej, przy których mierzono wartości temperatury w ściśle zdefiniowanych punktach. Uzyskane z eksperymentu wartości zostały zestawione z wartościami wyliczonymi z modelu matematycznego łożyska. Podrozdział 7.2 zatytułowano „Wyniki badań zasadniczych”, Autor przedstawił w nim wyniki obliczeń wartości charakterystyk statycznych łożyska z zastosowaniem opracowanego modelu symulacyjnego.

Autor przeprowadził i porównał obliczenia dla łożyska gładkiego oraz z rowkiem o wytypowanych parametrach. Zostały przeanalizowane zmiany charakterystyk przy zmianie mimosrodowości dla różnych wartości luzu względnego. Badano temperaturę maksymalną, nośność, wydatek oleju, maksymalne ciśnienie w filmie olejowym. W kolejnej części podrozdziału przeanalizowano wpływ szerokości łożyska na jego charakterystyki statyczne. Wykazano, że szerokość łożyska praktycznie nie wpływa na maksymalną temperaturę, pozostałe charakterystyki wykazują tendencję wzrostową wraz ze wzrostem szerokości łożyska. W analizach wpływu prędkości obrotowej czopa na wybrane charakterystyki wykazano jej dodatni wpływ na wszystkie badane charakterystyki zarówno łożyska gładkiego, jak również łożyska z rowkiem.

W rozdziale 8 stanowiącym podsumowanie Autor przedstawił najważniejsze efekty uzyskane w wyniku przeprowadzonych badań oraz wnioski wynikające z analizy wyników.

Bibliografia przedstawiona przez Autora zawiera 113 pozycji literaturowych uporządkowanych alfabetycznie. Przedstawiono również wykaz wykorzystywanych norm, katalogów oraz stron internetowych. W wykazie pozycji literaturowych obszerną część stanowią publikacje obejmujące tematykę związaną z badaniami charakterystyk łożysk, w tym dotyczącą analiz teoretycznych, obliczeń numerycznych oraz badań stanowiskowych, jak również dotyczącą problemów tribologicznych, w tym głównie metod zmniejszania zużycia elementów trących. Wśród publikacji znalazły się również pozycje dotyczące modelowania oraz metodyki badań w obszarach konstrukcji oraz zużycia tribologicznego łożysk.

Znacząca część pozycji wymienionych w bibliografii pochodzi z ostatniego dziesięciolecia, co świadczy o tym, że Kandydat w swojej pracy wykorzystał najnowsze informacje dotyczące przedmiotu badań.

Uwagi krytyczne

Przedstawiona przez Autora hipoteza zawiera sformułowania: „efektywne ograniczenie zużycia” oraz „znaczącego negatywnego wpływu”, na podstawie których nie można przedstawić ostrych kryteriów warunkujących pozytywną weryfikację hipotezy.

U1. Autor powinien wyjaśnić, przy jakich zakresach wartości ograniczenie zużycia zostanie uznane za efektywne oraz co zdaniem Autora należy uznać za znaczący negatywny wpływ.

U2. Autor nie analizuje w pracy charakterystyk dynamicznych, a tylko wybrane charakterystyki statyczne, dlatego zawarte w hipotezie sformułowanie „pozostałe charakterystyki” powinno być uściślone.

U3. Głównym celem pracy było wyznaczenie parametrów rowka nie powodującego istotnego spadku nośności. Autor podkreśla, że nośność przyjmuje za szczególnie ważną, w swoich rozważaniach, charakterystykę łożyska, nie podaje natomiast sposobu jej wyznaczenia.

U4. Dlaczego Autor zrezygnował w badaniach eksperymentalnych z pomiarów ciśnienia, które w przedmiotowych badaniach powinny stanowić istotny element weryfikacji obliczeń numerycznych ?

U5. W rozdziale 6.2 Autor napisał: „po przeprowadzeniu badań optymalizacyjnych ...”, nie wyjaśniając w jaki sposób przeprowadzono optymalizację.

U6. Autor podaje wzór na „bezwymiarowy wskaźnik W1” (str. 57) nazywając go w wykazie oznaczeń (str. 5) „bezwymiarowy współczynnik określający zależność nośności”. Tak przyjęte określenie jest nieprawidłowe, nasuwa się bowiem wątpliwość: zależność od czego?, której Autor nie rozstrzyga.

U7. We wzorze opisującym W1 Autor używa oznaczenia W%, którego nie wyjaśnia. Podaje co prawda informację: „wyznaczono procentowe wartości spadku nośności w odniesieniu do łożyska gładkiego”. Z tego opisu należy domniemywać, że W% oznacza iloraz: (nośność łożyska gładkiego - nośność łożyska z rowkiem) / nośność łożyska gładkiego. Ale z późniejszych obliczeń (tab 7.7) wynika, że Autor miał raczej na myśli iloraz nośności łożyska z rowkiem do nośności łożyska gładkiego.

Analogiczna uwaga dotyczy Ivc1 nazwanego przez Autora: „bezwymiarowy współczynnik określający zależność zużycia” (str. 4) oraz Ivc% (str 57) określonego przez Autora jako „procentowa wartość wzrostu zużycia łożyska z rowkiem w odniesieniu do łożyska gładkiego”, a który według recenzenta opisuje stosunek wartości zużycia łożyska gładkiego do wartości zużycia łożyska z rowkiem. Żadna jednak z tych interpretacji nie pasuje do obliczeń Ivc% przedstawionych w tab. 7.7. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.

U8. Sformułowanie poniżej wzoru 6.2 „Mając dwa bezwymiarowe parametry opisujące zależności nośności i zużycia wyznaczono sumę Σ różnic wartości bezwzględnych tych wartości...” jest nie do przyjęcia, nie wyjaśnia niczego, a wręcz wprowadza zamieszanie. Autor wprowadził w tym miejscu pewne kryterium (wzór 6.3), którego minimum poszukiwał, należało to jasno przedstawić.

U9. Autor nie przytoczył danych dotyczących dokładności i rozrzutu wyników badań intensywności zużywania, co przy badaniach zużycia jest szczególnie istotne.

U10. Autor na rys. 7.8 przedstawił wpływ parametrów rowka na wartości wprowadzonych wskaźników nośności oraz intensywności zużywania. Podpis pod rysunkiem wyjaśnia, że przedstawiono zależność nośności od zużycia co jest nieadekwatne do przedstawionej na nim treści, wymaga zmiany.

U11. Autor w rozdz. 7 stwierdził, że różnice temperatur sięgały od 2,5% do 8%, nie podał natomiast do czego odniesiono różnice, czy była to wartość średnia temperatury czy może wartość temperatury z eksperymentu czy też wartość temperatury wyliczona przez model.

U12. Autor podaje wartości temperatury zmierzone w badaniach łożyska przeprowadzonych na stanowisku badawczym. Nie podaje informacji dotyczącej wartości temperatury wyznaczonej eksperymentalnie, czy jest to wartość średnia, jeśli tak to z ilu powtórzeń. Nie podaje też informacji na temat rozrzutu wyników badań eksperymentalnych.

U13. Autor w swoich rozważaniach zwrócił szczególną uwagę na zmiany nośności i temperatury w zależności od parametrów rowka. Należy tu jednak podkreślić, że wnioski dotyczące zmiany nośności rzędu kilku procent powinny być stawiane z dużą ostrożnością, ponieważ jak wykazano wcześniej wyniki obliczeń ciśnienia maksymalnego z zastosowaniem opracowanych modeli różniły się w stosunku do obliczeń normatywnych o ok. 19%.

U14. W wyniku przeprowadzonych badań i analiz Autor wytypował parametry rowka spełniającego przyjęte założenia. Nie dokonał jednak analizy możliwości przyjęcia pewnej tolerancji dotyczącej przedziałów wartości tych parametrów.

U15. Autor zakończył rozważania na przedstawieniu podsumowania, w którym odniósł się do uzyskanych wyników badań. Nie przedstawił natomiast zagadnień badawczych wygenerowanych na gruncie zaprezentowanej pracy, które z uwagi na ich znaczenie dla rozwoju wiedzy i praktycznej aplikacji powinny stanowić przedmiot przyszłych badań.

Ogólna ocena pracy doktorskiej oraz konkluzja końcowa

Przedstawiona do oceny praca doktorska stanowi efekt wieloletniej pracy badawczej Autora. Pomimo uwag przedstawionych w recenzji oraz pewnych uchybień, głównie dotyczących sformułowań przyjętych przez Autora, stwierdzam, że Autor w sposób prawidłowy opanował metodykę pracy badawczej. Wykazał umiejętność formułowania problemu badawczego oraz planowania i prowadzenia badań eksperymentalnych w celu zweryfikowania opracowanego modelu matematycznego badanego obiektu.

Autor wykazał się dużym doświadczeniem w prowadzeniu badań symulacyjnych z zastosowaniem symulacji komputerowej, obejmujących zarówno budowę modelu symulacyjnego, jak również zastosowanie komputerowych systemów obliczeniowych do rozwiązywania równań matematycznych opisujących zachowanie badanych obiektów.

Wykazał, że opracowane przez niego modele matematyczne pozwalają na różnorodną ocenę projektowanych łożysk ślizgowych z możliwością szczegółowej analizy wpływu wybranych zmiennych na charakterystyki statyczne. Rozprawa zawiera bardzo obszerny zestaw wyników ilustrowany licznymi wykresami, na których zestawiono porównywane wielkości. Ilustracja wyników przeprowadzonych symulacji uzupełniona jest bogatą dokumentacją obrazów przedstawiających przestrzenny rozkład temperatury w filmie olejowym w zależności od badanych zmiennych.

Autor w sposób prawidłowy rozwiązał sformułowany problem badawczy. Zastosowane przez niego metody oraz przeprowadzone analizy świadczą o umiejętności wykorzystania posiadanej szerokiej wiedzy z obszaru tematyki prezentowanych badań.

Konkluzja

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny praca spełnia wymogi określone w Ustawie dnia 14 marca 2003 r. „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”. Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Leszka Tomczewskiego do publicznej obrony przedłożonej przez niego pracy doktorskiej.

