

Dr hab.inż. Zbigniew Ranachowski, Prof. IPPT PAN, Warszawa, 03.12.2011 r.
Zakład Wytrzymałości Materiałów
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Zygmunta Raunmiagi p. t.
„ Ocena stanu stożkowej powierzchni iglicy i gniazda rozpylaczy paliwa
silników okrętowych z wykorzystaniem emisji akustycznej ”**

Rozprawa doktorska mgr inż. Zygmunta Raunmiagi liczy 102 strony i składa się z części opisowej, zawierającej zestawienie definicji podstawowych terminów stosowanych w pracy, wstępu, pięciu rozdziałów, podsumowania i wykazu literatury przedmiotowej a ponadto z uzupełnienia z jedenastoma załącznikami przedstawiającymi wyniki pomiarów części składowych badanych rozpylaczy wykonanych metodami określonymi w obowiązującej Dokumentacji Techniczno - Eksploatacyjnej tych mechanizmów.

Magister Raunmiagi podjął się rozwiązania złożonego problemu z dziedziny budowy i eksploatacji maszyn. W swojej rozprawie zajmuje się elementami układu paliwowego silnika wysokoprężnego, wytworzonymi z bardzo wysoką precyzją, które w trakcie eksploatacji podlegają zużyciu w sensie degradacji powierzchni styku pary trącej. Znane są przypadki wprowadzenia do eksploatacji partii nowych rozpylaczy z wadami produkcyjnymi powodującymi ich wadliwą funkcjonowanie. Badanie jakości rozpylaczy tradycyjnymi metodami jest kosztowne i pracochłonne. Istnieje zatem potrzeba wprowadzania dodatkowych metod diagnostycznych umożliwiających szybką diagnostykę stanu powierzchni styku gniazdo - iglica rozpylaczy paliwa. Magister Raunmiagi przedstawił w swojej rozprawie wyniki badań wymienionych wyżej elementów z zastosowaniem metody pomiaru wzbudzonej emisji akustycznej.

We wstępie do rozprawy autor uzasadnia potrzebę podjęcia tematu opracowania nowej metody diagnostycznej przytaczając statystykę uszkodzeń podukładów morskich silników tłokowych wysokoprężnych dużej mocy. Z zamieszczonych danych wynika, że uszkodzenia stożka i gniazda iglicy stanowią dominujący odsetek wszystkich stwierdzonych rodzajów uszkodzeń.

Drugi rozdział rozprawy Magistra Raunmiagiego zawiera w paragrafie 1.1 omówienie standardowych metod diagnostyki stanu technicznego silników spalinowych. Cytuje on znaczną liczbę (około trzydziestu) artykułów i podręczników z tej tematyki. W paragrafie 1.2 autor rozprawy podaje definicję metody emisji akustycznej. W tym miejscu określa, na czym polega różnica pomiędzy badaniami metodą wibroakustyczną, a metodą emisji akustycznej w sensie normy PN - EN 13477 - 2. Z przytoczonego opisu wynika, że sygnał wibroakustyczny ma charakter quasi - stacjonarny - typowy dla obiektów generujących drgania powodowanych przez ruch obrotowy wałów, wirników i t.p., natomiast sygnał emisji akustycznej ma charakter impulsowy i jest generowany m.in. w trakcie wtrysku paliwa

do cylindra roboczego, pracy zaworów, czy w procesie spalania paliwa. W paragrafie 1.2 Magister Raunmiagi cytuje znaczną liczbę prac autorów krajowych i zagranicznych, dotyczących zastosowania analizy sygnału emisji akustycznej w diagnostyce silników z zapłonem samoczynnym. Recenzent omawianej rozprawy stwierdza, że jej autor wyczerpująco przedstawił stan wiedzy w zakresie będącym przedmiotem jego badań.

Kolejne paragrafy rozprawy to szczegółowy opis standardowej metodyki obróbki sygnału emisji akustycznej, stosowanych miar tego sygnału a także sposobu realizacji tego pomiaru na poziomie bloków funkcjonalnych typowej aparatury. Obszerne paragrafy 1.3 i 1.4 zawierają opis elementu układu paliwowego silnika będącego przedmiotem badań w dalszej części rozprawy. W tym paragrafie omówiono metodykę badania procesów zużycia warstwy wierzchniej powierzchni styku i sposoby pomiarów własności tej powierzchni.

W dalszej części rozprawy autor przedstawia jej tezę oraz plan pracy badawczej prowadzący do jej udowodnienia. W tym celu autor zaplanował badania reprezentatywnego zbioru obiektów. Elementami tego zbioru były rozpylacze przebadane metodami standardowymi, umożliwiającymi zakwalifikowanie ich jako sprawne i niesprawne, przy czym miarą ich niesprawności było przekroczenie co najmniej jednej z wartości granicznych zestawionych w paragrafie 3.1.1. Zestawienie wyników pomiarów parametrów geometrycznych rozpylaczy niesprawnych zamieszczono w Załącznikach 1 - 7. Paragrafy 3.1.1 do 3.1.3 zawierają wyniki pomiarów zbioru badanych rozpylaczy metodami tradycyjnymi. Autor rozprawy przedstawił *explicite* szczegółowe kryterium katowe zakwalifikowania konkretnych rozpylaczy do kategorii sprawny / niesprawny w Tabeli 6. na stronie 45., chociaż byłoby czytelniej zamieścić to we wprowadzeniu przedstawionym w paragrafie 3.1.1

Rozdział 4. zawiera opis oryginalnego stanowiska pomiarowego, zaprojektowanego przez autora rozprawy. Częścią składową tego stanowiska jest precyzyjnie wykonany układ prowadzenia ciężarka, który jest źródłem sygnału emisji akustycznej. Ciężarek ten opada pod wpływem siły grawitacji w tulei teflonowej na iglicę wtryskiwacza. W ten sposób generowany jest sygnał emisji akustycznej, którego propagacja do sensora odbywa się poprzez styk iglica - gniazdo a sprzężenie akustyczne elementów styku jest zależne od stopnia ich zużycia. Opis części mechanicznych i standardowych bloków obróbki sygnału emisji akustycznej został zredagowany czytelnie i wyczerpująco wraz z podaniem zasadniczych parametrów systemu obróbki sygnału.

W paragrafie 4.5 autor rozprawy przedstawił różnice parametrów sygnału emisji akustycznej zarejestrowanego w trakcie badania rozpylaczy. Z zamieszczonych informacji wynika, że sygnał emitowany przez badany obiekt ma charakter impulsowy i zanika po czasie nie dłuższym niż 0.7 sekundy. Jednak, aby wyeliminować wpływ procesów losowych towarzyszących uderzeniu ciężarka w iglicę w każdym badaniu iglicy procedura generacji sygnału była powtarzana trzydziestokrotnie, a następnie uzyskane parametry sygnału emisji akustycznej uśredniono przy pomocy gotowego programu komputerowego. Spektrogramy i charakterystyki amplitudowo - czasowe ośmiu zarejestrowanych charakterystycznych przebiegów sygnału emisji akustycznej zostały przedstawione na rysunkach 36 do 59. Na stronach 51. do 60. Magister

Raunmiagi opisał wszystkie etapy obróbki sygnału emisji akustycznej i przedstawił graficznie przebieg zmienności trzech miar tego sygnału, które charakteryzowały stopień zużycia powierzchni styku części rozpylacza.

W tym paragrafie autor rozprawy omówił otrzymane wartości miary rozrzutu mierzonych wielkości fizycznych (odchylenia standartowego) i określił, jaki parametr sygnału emisji akustycznej ma najkorzystniejszy stosunek średniej arytmetycznej ze zmierzonych wartości wybranych parametrów do tego odchylenia. Z ustaleń zamieszczonych w rozprawie wynika, że najlepiej skorelowanym klasyfikatorem zmierzonego sygnału emisji akustycznej ze stopniem zużycia obiektu jest energia zdarzeń sygnału wyznaczona przy progu odrzucania tła akustycznego na poziomie 50 mV. Graficzna konfrontacja zbioru otrzymanych wyników z teoretycznym przebiegiem dystrybuanty rozkładu losowego przedstawiona na stronach 73 - 74 pokazująca ich zbliżoną postać upewniła autora rozprawy, że może używać średniej arytmetycznej ze zbioru wyników pomiaru jako wiarygodnej miary wartości oczekiwanej tych wyników.

Na tej podstawie Magister Raunmiagi sformułował konkretne kryterium zakwalifikowania wyników pomiaru sygnału generowanego w elementach rozpylacza do kategorii sprawny/niesprawny łącznie z podaniem zakresów zmienności wyznaczonych na poziomie ufności $P = 0,95$. W związku z tym sformułowana przez niego teza rozprawy została udowodniona.

Uwagi krytyczne

Recenzent stwierdza, że omawiana rozprawa została zredagowana dosyć starannie i obszernie zilustrowana rysunkami i tabelami. Uchybienia zauważone przez recenzenta są znikome. W Tabeli 3 podano błędny numer rysunku: powinno być 22 zamiast 17. Zdaniem recenzenta w punkcie 3.1.1 powinno być przedstawione główne kryterium zakwalifikowania rozpylaczy jako niesprawnych, które znalazło się w Tabeli 6. Dostrzeżone uchybienia nie mają znaczenia dla pozytywnej oceny całości pracy. Stwarza ona wrażenie starannego przygotowania i przedstawienia. W opinii recenzenta prezentowane wyniki badań są bardzo interesujące z poznawczego punktu widzenia i mogą być pomocne dla diagnostów analizujących sygnał generowany w licznych systemach wtryskiwaczy w trakcie ich eksploatacji w pracującym silniku. Jak wiadomo problem ten nie doczekał się jeszcze kompleksowego rozwiązania, a wtryskiwacze w układach typu Common Rail wykazują podatność na uszkodzenia zaworów sterujących o budowie zbliżonej do przedstawionych w recenzowanej rozprawie.

Publikacje i pozostałe osiągnięcia Magistra Raunmiagi

Autor rozprawy jest współautorem i autorem piętnastu artykułów w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych, głównie o zasięgu krajowym. Ponadto jest samodzielnym autorem artykułu referującego wyniki swoich badań zamieszczonego w 36. tomie, czwartym zeszycie *Archives of Acoustics* - recenzowanego czasopiśmie znajdującego się na t.zw. Liście Filadelfijskiej z *Impact factorem* równym 0,35. Jest

również samodzielnym autorem skryptu z dziedziny metodyki napraw elementów maszyn okrętowych, a także współautorem przyjętego wniosku patentowego.

Wniosek

Biorąc pod uwagę przedstawioną wyżej ocenę rozprawy doktorskiej mgr Magister Raunmiagi stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego. Osiągnięcie celu pracy zostało należycie udokumentowane a rozprawa spełnia warunki *Ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych* z dnia 14 marca 2003 r. z późn. zmianami. W związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie omawianej rozprawy do publicznej obrony.