

OCENA WRAŻLIWOŚCI DIAGNOSTYCZNEJ PRZEBIEGU CIŚNIENIA INDYKOWANEGO ŚREDNIOOBROTOWEGO SILNIKA OKRĘTOWEGO

Rafał PAWLETKO

Katedra Siłowni Okrętowych, Akademia Morska w Gdyni

Streszczenie

W artykule przedstawiono ocenę wrażliwości diagnostycznej przebiegu ciśnienia indykowanego na wybrane uszkodzenia aparatury wtryskowej średnioobrotowego okrętowego silnika spalinowego. Wykorzystano wyniki badań silnika typu Sulzer 3A1 25/30. Przebiegi ciśnienia rejestrowano za pomocą indykatora elektronicznego Unitest 201.

Słowa kluczowe: wrażliwość diagnostyczna, wykres indykatorowy, diagnostyka układu wtryskowego

ESTIMATION OF DIAGNOSTIC SENSIVITY OF INDICATION DIAGRAM OF MARINE MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE

Summary

The paper presents estimation of diagnostic sensitivity of indication diagram for fuel injection system faults of marine medium speed diesel engine. The experience data has been collected during the test at the Sulzer 3A1 25/30 engine. The indication diagram has been collected by electronic indicator Unitest 201.

Keywords: diagnostic sensitivity, indication diagram, diagnostic of fuel injection system

1. WPROWADZENIE

Eksploatacja współczesnych silników okrętowych stwarza konieczność rozwoju metod i środków oceny ich stanu technicznego. Pomimo dynamicznego rozwoju elektronicznych urządzeń diagnostycznych oraz potencjalnych metod ich wykorzystania, szereg problemów diagnozowania okrętowych silników spalinowych pozostaje wciąż nierozwiązanych. Podstawą oceny ich stanu jest przede wszystkim wiedza oraz doświadczenie oficera mechanika. Diagnoza zależy więc od indywidualnych predyspozycji obsługującego i pozostaje w znacznym stopniu subiektywna.

Zachodzi zatem konieczność opracowania urządzeń diagnostycznych, które w sposób automatyczny, z dużym prawdopodobieństwem pozwolą ocenić stan eksploatowanych obiektów. Ograniczeniem w tworzeniu takich urządzeń są uwarunkowania ekonomiczne. Powinny one w miarę możliwości, korzystać ze standardowego wyposażenia kontrolno – pomiarowego współczesnych siłowni okrętowych. Rozbudowane, kompleksowe systemy diagnostyczne, pomimo niewątpliwych zalet, do dzisiaj znajdują ograniczone zastosowania na statkach, właśnie z powodu wysokich kosztów.

Analiza statystyczna eksploatacji okrętowych silników spalinowych wykazuje, że najczęściej uszkodzeń występują w ich dwóch głównych węzłach funkcjonalnych: turbosprężarkowym układzie doładowania oraz układzie wtryskowym [10]. O ile diagnozowanie stanu układu doładowania w oparciu o dostępne parametry diagnostyczne

zostało w dużym stopniu rozwiązane, ocena stanu aparatury wtryskowej pozostaje wciąż sprawą otwartą. Wynika to przede wszystkim z faktu, małej wrażliwości diagnostycznej zwyczajowo dostępnych parametrów pracy silnika spalinowego na uszkodzenia tego układu. Większość metod diagnozowania bazuje na przebiegu ciśnienia w przewodach paliwowych. Liczne prace badawcze wskazują na dużą efektywność takiego rozwiązania [2,5,6,7]. Główny problem zastosowania go w praktyce okrętowej polega na tym, iż ten parametr diagnostyczny jest niedostępny we współczesnych siłowniach okrętowych, szczególnie w odniesieniu do silników średnioobrotowych napędu agregatów prądowców.

W artykule podjęto próbę, określenia przydatności przebiegu ciśnienia indykowanego, do oceny stanu technicznego aparatury wtryskowej.

2. WRAŻLIWOŚĆ DIAGNOSTYCZNA

Wrażliwość diagnostyczna pozwala ocenić, jaką ilość informacji o stanie technicznym badanego obiektu niesie dany sygnał diagnostyczny. Wrażliwość diagnostyczną można określić w sposób następujący [10]:

$$K = \frac{\Delta d}{\Delta c} \quad (1)$$

gdzie:

K – wrażliwość parametru diagnostycznego,
 Δd – odchylenie parametru diagnostycznego,
 Δc – odchylenie parametru struktury.

Wrażliwość diagnostyczna K pozwala na ocenę pojedynczych sygnałów diagnostycznych. W poniższym artykule podjęto analizę przebiegu wykresu indykatorowego. Zarejestrowany za pomocą indykatora elektronicznego przebieg ciśnienia indykowanego jest zbiorem wartości ciśnień, odpowiadających poszczególnym kątom obrotu wału korbowego. Wynikiem analizy wrażliwości takiego przebiegu, będzie zatem zbiór współczynników K, odpowiadających kątom obrotu wału korbowego. Pozwoli to na ocenę, nie tylko czułości wykresu indykatorowego na zmiany stanu technicznego aparatury wtryskowej, ale także umożliwi wytypowanie obszarów najbardziej wrażliwych.

Eksperyment diagnostyczny, nie przewidywał symulowania różnego natężenia uszkodzeń, w związku z tym, wartość odchylenia parametru struktury Δc we wszystkich obliczeniach wynosiła 1.

3. PRZEBIEG EKSPERYMENTU

Obiektem badań był okrętowy silnik spalinowy typu Sulzer 3AL 25/30 o następujących danych:

- moc z cylindra 136 [kW],
- prędkość obrotowa 750 [obr/min],
- średnie ciśnienie efektywne 1.575 [MPa],
- stopień sprężania 13 [-],
- jednostkowe zużycie paliwa 204 [g/kWh],
- doładowania turbosprężarką BBC,
- obciążenie prądnicą elektryczną,
- liczba cylindrów 3[-].

Indykowanie silnika wykonano za pomocą indykatora elektronicznego Unitest 201, który umożliwiał pomiar ciśnienia w cylindrze co 1° OWK.

Badania zrealizowano według teorii eksperymentu czynnego. Symulowano następujące uszkodzenia układu paliwowego:

- a) spadek napięcia sprężyny wtryskiwacza
- b) zużycie pompy wtryskowej
- c) rozkalibrowany wtryskiwacz (rozwiercone otwory iglicy)
- d) wzrost napięcia sprężyny wtryskiwacza
- e) zużyta iglica wtryskiwacza (wtryskiwacz z iglicą o zbyt małej średnicy)
- f) zakokszony wtryskiwacz (zatkana część otworków iglicy)

Symulowano jeden poziom określonego uszkodzenia, następnie dokonywano pomiarów ciśnienia w cylindrze, w zakresie pracy silnika od 50 do 250 kW.

W celu częściowej eliminacji zakłóceń spowodowanych drganiami słupa gazów w kanale kurka indykatorowego, przebiegi ciśnień zostały wygładzone za pomocą wielomianów trzeciego stopnia.

4. WYNIKI BADAŃ

Wrażliwość parametru diagnostycznego K została wyznaczona zgodnie z zależnością (1). Wpływ uszkodzeń układu paliwowego na przebieg wykresu indykatorowego może w istotny sposób zależeć od obciążenia silnika. W związku z tym, analizy wrażliwości dokonano w czterech zakresach mocy:

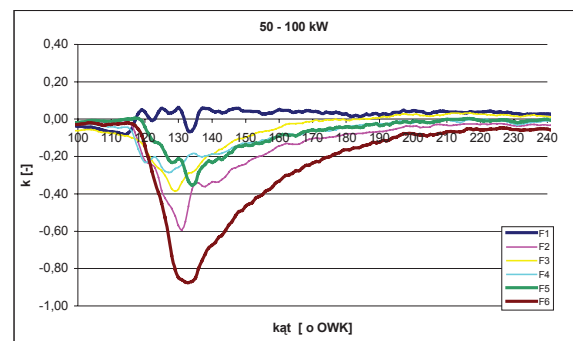
- przedział pierwszy 50 – 100 kW,
- przedział drugi 100 – 150 kW,
- przedział trzeci 150 – 200 kW,
- przedział czwarty 200 – 250 kW.

Diagnozowanie stanu aparatury wtryskowej na podstawie przebiegu ciśnienia indykowanego, będzie możliwe w sytuacji, gdy przebiegi tego ciśnienia dla poszczególnych uszkodzeń będą posiadały cechy, umożliwiające odróżnienie ich od siebie. Analiza dotychczasowych danych eksperymentalnych świadczy o istnieniu charakterystycznych wzorców przebiegu wrażliwości diagnostycznej K, pomimo istnienia dużej niepowtarzalności rejestrowanych przebiegów ciśnienia indykowanego.

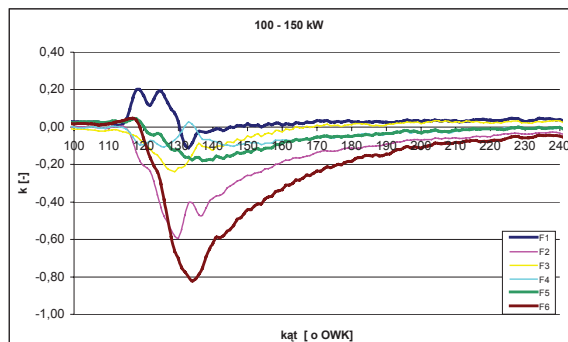
W celu dokonania analizy rozróżnialności wartości diagnostycznej K dla danych uszkodzeń, dokonano uśrednienia przebiegów K w badanych przedziałach obciążeń a następnie wykonano wykresy zbiorcze wrażliwości.

Poszczególne uszkodzenia oznaczono odpowiednio:

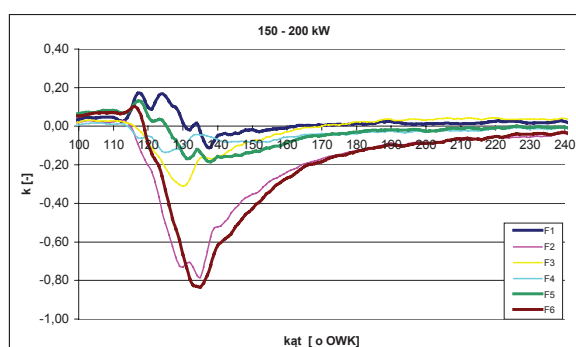
- F1 – spadek napięcia sprężyny wtryskiwacza,
- F2 - zużycie pompy wtryskowej,
- F3 - rozkalibrowany wtryskiwacz,
- F4 – wzrost napięcia sprężyny wtryskiwacza,
- F5 - zużyta iglica wtryskiwacza,
- F6 - zakokszony wtryskiwacz.



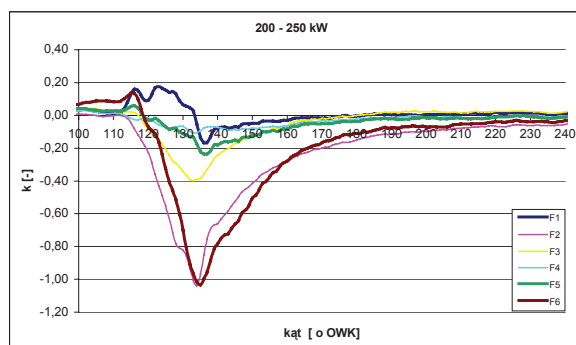
Rys. 1. Przebieg uśrednionych wrażliwości diagnostycznych w przedziale obciążeń 50 – 100 kW



Rys. 2. Przebieg uśrednionych wrażliwości diagnostycznych w przedziale obciążeń 100 – 150 kW



Rys. 3. Przebieg uśrednionych wrażliwości diagnostycznych w przedziale obciążeń 150 – 200 kW



Rys. 4. Przebieg uśrednionych wrażliwości diagnostycznych w przedziale obciążeń 200 – 250 kW

Z wyjątkiem spadku napięcia sprężyny wtryskiwacza, kształt średniej wrażliwości diagnostycznej dla pozostałych uszkodzeń ma zbliżony przebieg. Zaczynają maleć w okolicach 120° OWK (GMP), osiągając minimum w granicach 130 – 140° OWK, a następnie zbliżają się do zera w okolicach 230 – 240° OWK. Wrażliwość diagnostyczna zużycia pompy wtryskowej oraz zakokowanego wtryskiwacza, charakteryzuje się znacznie wyższymi amplitudami od pozostałych

uszkodzeń, szczególnie w zakresach wyższych obciążeń.

Na podstawie przebiegów średnich wrażliwości diagnostycznych dla poszczególnych uszkodzeń można stwierdzić że:

1. Możliwe jest odróżnienie spadku napięcia sprężyny wtryskiwacza od pozostałych uszkodzeń. Przebieg średniej wrażliwości diagnostycznych dla poszczególnych uszkodzeń (krzywa F1 rys. 2-4) posiada charakterystyczne dwa ekstrema w zakresie 110 – 120° OWK przyjmując jednocześnie wyraźne dodatnie wartości w tym przedziale.
2. Średnie wrażliwości zużycia pompy wtryskowej (krzywa F2) oraz zakokowanego wtryskiwacza (krzywa F6) charakteryzują się zdecydowanie wyższą amplitudą niż pozostałe uszkodzenia. Kłopotliwe może być rozróżnienie tych dwóch uszkodzeń między sobą. Przebieg wrażliwości zakokowanego wtryskiwacza przyjmuje jednak w początkowej fazie spalania (przed GMP) wartości dodatnie, podczas gdy w przypadku przecieków pompy paliwowej osiąga wartości ujemne.
3. Najwięcej kłopotów może sprawić rozróżnienie średnich wrażliwości rozkalibrowanego wtryskiwacza (krzywa F3), wzrostu napięcia sprężyny wtryskiwacza (krzywa F4) oraz zużytej iglicy wtryskiwacza (krzywa F5). W przypadku rozkalibrowanego wtryskiwacza wrażliwość przyjmuje dodatnie wartości w zakresie 180 – 240° OWK, w odróżnieniu wysokiego ciśnienia otwarcia i zużytej iglicy wtryskiwacza.

Przedstawione powyżej wnioski, dotyczą średnich wartości współczynnika wrażliwości diagnostycznej ciśnienia indykowanego dla poszczególnych uszkodzeń. Badania wykazały, iż mogą wystąpić znaczne różnice między pojedynczymi przebiegami, a wartością średnią.

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić:

Przebieg wykresu indykatorowego, niesie dużą ilość informacji o stanie technicznym aparatury wtryskowej i może stanowić podstawę wielu interesujących algorytmów diagnostycznych. Wyznaczone przebiegi wrażliwości diagnostycznej dowodzą istnienia wpływu uszkodzeń aparatury paliwowej, na przebieg ciśnienia indykowanego. Najbardziej wyraźne symptomy posiadają takie uszkodzenia, jak: zużycie pompy wtryskowej, zakokowany wtryskiwacz oraz spadek napięcia sprężyny wtryskiwacza.

Występują pewne różnice pomiędzy kształtem poszczególnych przebiegów wrażliwości diagnostycznej dla tego samego uszkodzenia. Mogą

być one powodem wielu błędów podczas klasyfikacji stanu aparatury wtryskowej. Różnice w przebiegach wrażliwości diagnostycznej mogą wynikać między innymi z: błędów pomiaru przebiegu ciśnienia w cylindrze, spowodowanymi między innymi drganiami słupa gazów w kanale kurka indykatorowego; dużej niepewtarzalności poszczególnych cykli pracy silnika spalinowego; różnicy obciążeń podczas indykowania silnika w stanie nominalnym i z uszkodzeniami. Dalsze prace powinny dotyczyć poszukiwania parametrów wykresu indyka-torowego, mogących stanowić symptomy uszkodzeń układu wtryskowego.



Rafał PAWLETKO jest asystentem w Katedrze Siłowni Okrętowych Akademii Morskiej w Gdyni. Zajmuje się diagnostyką okrętowych silników spalinowych.

LITERATURA

- [1] Hebda M., Niziński S., Pelc H.: Podstawy diagnostyki pojazdów samochodowych. WKŁ, Warszawa 1980.
- [2] Jankowski M.: Ocena wrażliwości diagnostycznej sygnału pulsacji ciśnienia aparatury wtryskowej. Rozprawa doktorska, Akademia Techniczno Rolnicza w Bydgoszczy 1997.
- [3] Kluj S.: Diagnostyka urządzeń okrętowych. WSM Gdynia, 1992.
- [4] Korbicz J., Kościelny J., Kowalczyk Z., Cholewa W.: Diagnostyka procesów, WNT Warszawa 2002.
- [5] Lotko W.: Diagnostyka aparatury wtryskowej. WSI Radom, Mechanika 20/1991.
- [6] Lotko W.: Diagnostowanie aparatury wtryskowej na podstawie zmian ciśnienia w przewodach wtryskowych. Silniki Spalinowe nr 3/1987.
- [7] Sobieszkański M.: Bieżąca kontrola diagnostyczna aparatury wtryskowej silnika okrętowego. Silniki Spalinowe nr 1/1984.
- [8] Włodarski J. K.: Wybrane problemy metodyki badań diagnostycznych wolno i średnioobrotowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym. Silniki Spalinowe Nr 1-2/1987.
- [9] Piotrowski I., Witkowski K.: Okrętowe Silniki Spalinowe. Trademar Gdynia 1996.
- [10] Witkowski K.: Wybór i minimalizacja liczby parametrów diagnostycznych złożonych obiektów technicznych, VI Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, Władysławowo 2003.