ZESZYTY NAUKOWE AKADEMII MARYNARKI WOJENNEJ
ROK LII NR 4 (187) 2011

Marcin Zacharewicz
Akademia Marynarki Wojennej

BADANIA WSTĘPNE STANU TECHNICZNEGO NIEDOŁADOWANEGO SILNIKA OKRĘTOWEGO NA PODSTAWIE POMIARÓW PARAMETRÓW PROCESÓW GAZODYNAMICZNYCH SPALIN W KANALE WYLOTOWYM

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiony jest opis silnika pomocniczego LEYLAND typu SW400 zainstalowanego na stanowisku laboratoryjnym w Akademii Marynarki Wojennej. Dokonano analizy możliwości realizacji pomiarów parametrów gazodynamicznych w kanale spalin wylotowych, przedstawiono możliwości systemu pomiaru i rejestracji parametrów szybkozmiennych MA2005 oraz sposób jego wykorzystania w ocenie stanu technicznego przestrzeni roboczych silnika. Dalszą część artykułu stanowią wyniki badań wstępnych prowadzonych na silnikach typu SW400.

Słowa kluczowe:
okrętowe tłokowe silniki spalinowe, diagnostyka.

WSTĘP

Istotnym problemem badawczym podejmowanym na Wydziale Mechaniczno-Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej jest opracowanie bezinwazyjnej metody diagnozowania przestrzeni roboczych okrętowych tłokowych silników spalinowych niewyposażonych standardowo w zawory indykatorowe. Metoda taka powstała na potrzeby silników doładowanych pulsacyjnie za pomocą turbosprężarki [2, 3]. Bazuje ona na pomiarach ciśnienia w przekrojach kontrolnych kanału łączącego cylindry silnika z turbiną turbosprężarki. Pomiary te pozwalają na wyznaczenie następujących parametrów diagnostycznych:

— strumienia entalpii spalin w kanałach łączących cylindry silnika z turbiną turbosprężarki z możliwością określenia udziału poszczególnych cylindrów w tym strumieniu;

— prędkości przemieszczania się szczytowej amplitudy fali ciśnienia spalin w kanale wylotowym;
— wartości parametru diagnostycznego będącego stosunkiem amplitud ciśnienia spalin harmonicznej podstawowej do harmonicznej odpowiadającej liczbie cylindrów zasilających dany kanał przepływowy.

Przedstawione parametry diagnostyczne pozwalają na wczesną identyfikację i lokalizację szeregu stanów niezdatności technicznej przestrzeni roboczych silnika oraz elementów aparatury paliwowej. Użyteczność opracowanej metody oceny stanu technicznego przestrzeni roboczych dla doładowanego silnika okrętowego została udowodniona w wyniku zrealizowanej w Akademii Marynarki Wojennej rozprawy doktorskiej Marcina Zacharewicza [3].

Kolejną liczną grupę silników eksploatowanych na okrętach Marynarki Wojennej RP stanowią silniki niedoładowane niewyposażone przez producenta w zawory indykatorowe, stosowane zazwyczaj jako silniki pomocnicze. Do tej pory nie opracowano skutecznej metody parametrycznej oceny stanu technicznego ich przestrzeni roboczych, co uniemożliwia zastosowanie wobec nich strategii eksploatacji według stanu technicznego. W stosunku do nich stosowana jest jedynie strategia eksploatacji według resursu godzinowego [1].

CHARAKTERYSTYKA APARATURY POMIAROWEJ

Do realizacji pomiarów na obiektach rzeczywistych wykorzystany został zaprojektowany oraz wykonany w AMW ośmiokanałowy rejestrator parametrów szybkozmiennych MA 2005. Daje on możliwość równoczesnego pomiaru oraz rejestracji ośmiu parametrów. W zależności od zastosowanych przetworników mogą to być: ciśnienie, drgania, kąt obrotu itp. Pomiary powyższych parametrów mogą być realizowane z częstotliwością próbkowania do 20 kHz, co jest wartością wystarczającą do identyfikacji zjawisk pulsacyjnych w kanałach spalin wylotowych.

Czujnikiem ciśnienia wykorzystywanym podczas pomiarów są przetworniki światłowodowe firmy OPTRAND typu C11294-Q. Zastosowanie czujników światłowodowych podyktowane zostało ich odpornością na wysokie temperatury, która wynika z faktu, że układ pomiarowy nie ma bezpośredniego kontaktu z membraną.

Do pomiaru sygnału drganiowego wykorzystywany jest piezoelektryczny przetwornik drgań produkcji Brüel & Kjaer typu 4384. Jest on jednopłaszczyznowym akcelerometrem wykorzystującym do pomiaru zjawisko piezoelektryczne. Podstawowym kryterium doboru tego przetwornika była jego specyfikacja techniczna oraz odporność na wysokie temperatury, wynikająca z faktu niezespolenia go ze wzmacniaczem.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Obiektem badań jest silnik pomocniczy typu SW400 zainstalowany na stanowisku laboratoryjnym na Wydziale Mechaniczno-Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej. Jest to silnik czterosuwowy sześciocylindrowy rzędowy niedoładowany. Stosowany jest jako silnik pomocniczy na okrętach Marynarki Wojennej RP oraz jako jednostka napędowa autobusów Autosan H9, kombajnów Bizon oraz doświadczalnie samochodów Star 28.

Widok ogólny morskiego zespołu prądotwórczego ZE400/52 wyposażonego w silnik na licencji LEYLAND typu SW400 przedstawiono na rysunku 1. Dane techniczne silnika zestawiono w tabeli 1.

Stanowisko laboratoryjne zostało wyposażone w trzy morskie zespoły prądotwórcze typu ZE400/52, mogące pracować niezależnie od siebie. Każdy z silników zespołów prądotwórczych wydala spaliny do wspólnego kanału zbiorczego, z którego są one odprowadzane do atmosfery. Silniki zostały wyposażone w czujniki temperatury spalin zainstalowane w kanałach wylotowych. W czasie realizacji badań w miejscu termopar zamontowano przetworniki ciśnienia OPTRAND typu C11294-Q (rys. 2.).

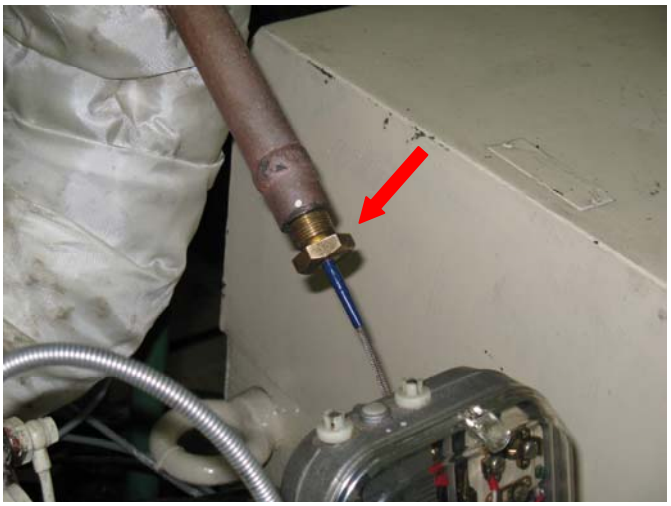
Rys. 1. Widok ogólny morskiego zespołu prądotwórczego ZE400/52 zainstalowanego na stanowisku laboratoryjnym

Źródło: zdjęcie wykonane przez autora.

Tabela 1. Charakterystyka techniczna silnika typu SW400 [4]

Rodzaj silnika	O zapłonie samoczynnym czterosuwowy, górnozaworowy, niedoładowany	Rodzaj wtrysku	Bezpośredni
Moc znamionowa	54 kW	Kolejność wtrysku	1–5–4–6–2–4
Znamionowa prędkość obrotowa	1500 min^{-1}	Ciśnienie otwarcia wtryskiwacza	16,18–16,67 MPa
Liczba cylindrów	6	Jednostkowe zużycie paliwa	190 g/(kW·h)
Skok tłoka	120,65 mm	Początek otwarcia zaworu dolotowego	10^0 przed GMP
Średnica cylindra	107,19 mm	Zamknięcie zaworu dolotowego	50^0 po DMP
Objętość skokowa	6540 cm^3	Początek otwarcia zaworu wylotowego	46^0 przed DMP
Stopień sprężania	16	Zamknięcie zaworu wylotowego	14^0 po GMP
Ciśnienie sprężania	1,96 MPa		

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Kanał wylotu spalin z zainstalowanym czujnikiem ciśnienia OPTRAND typu C11294-Q

Źródło: zdjęcie wykonane przez autora.

Poszczególne zespoły połączone są z kanałem zbiorczym spalin wylotowych za pomocą złącza kompensującego drgania w czasie ich pracy (rys. 3.).

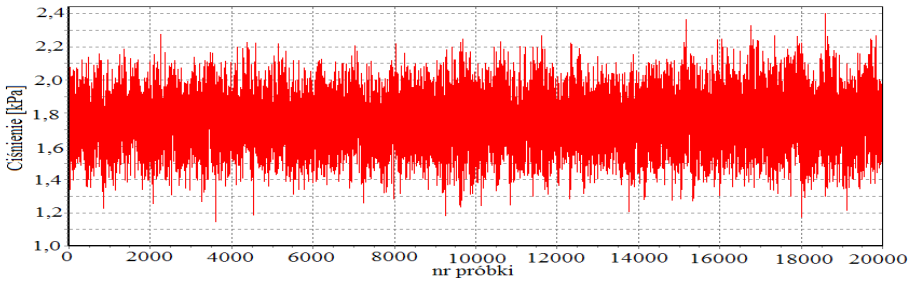
Rys. 3. Złącze kompensacyjne kanału spalin wylotowych silnika LEYLAND typu SW400
Źródło: zdjęcie wykonane przez autora.

W dalszych badaniach przewiduje się możliwość zastąpienia złącza kompensacyjnego odcinkiem kanału przepływowego, w którym zostaną wykonane dwa otwory (w odległości 50 cm od siebie). Umożliwi to pomiar ciśnienia spalin w dwóch przekrojach kontrolnych kanału, co jest niezbędne do określenia prędkości przemieszczania się szczytowej amplitudy fali ciśnienia spalin w kanale wylotowym [2, 3]. Pomiar przyspieszeń drgań konieczny do wyznaczenia prędkości obrotowej wału korbowego silnika oraz uśredniania synchronicznego przebiegów ciśnienia został zrealizowany na nakrętkach mocujących przewody wysokiego ciśnienia do wtryskiwaczy poszczególnych sekcji cylindrowych silnika w płaszczyźnie pracy wtryskiwacza. Pomiary ciśnienia i przyspieszeń wytypowanych elementów konstrukcyjnych silnika zrealizowano z częstotliwością próbkowania wynoszącą 10 kHz, wykorzystując do tego celu rejestrator parametrów szybkozmiennych MA2000.

WYNIKI POMIARÓW CIŚNIENIA NA SILNIKU TYPU SW400

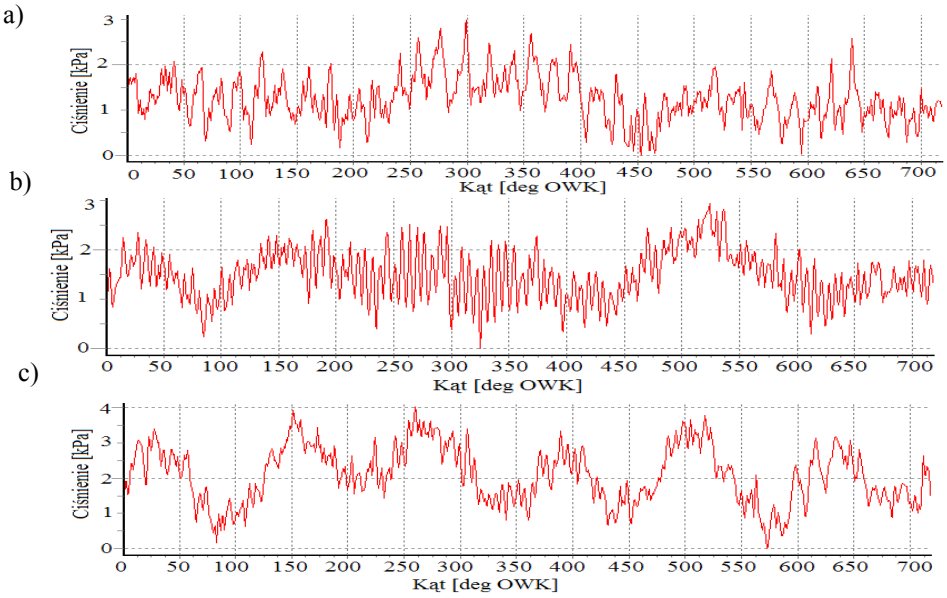
Pomiary ciśnienia spalin w przekrojach kontrolnych kanału spalin wylotowych silnika typu SW400 przeprowadzono dla stanu pełnej zdatności technicznej zespołu prądotwórczego ZE400/52. Prędkość obrotowa wału korbowego silnika została ustalona na 1500 min^{-1} , natomiast obciążenie silnika momentem obrotowym realizowano przez zmianę obciążenia elektrycznego prądnicy współpracującej z silnikiem. Badania prowadzono dla biegu luzem (brak załączonych odbiorów) oraz dla obciążenia odpowiadającego mocy pobieranej z prądnicy wynoszącej 10 oraz 20 kW.

Przykładowy przebieg ciśnienia spalin w kanale przepływowym jako funkcji numeru próbki (co przy znanej częstotliwości próbkowania odpowiada funkcji czasu) przedstawiono na rysunku 4. Przebiegi ciśnienia jako funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika dla różnych obciążeń silnika momentem obrotowym (uzyskane w wyniku uśredniania synchronicznego) przedstawiono na rysunku 5., natomiast widmo amplitudowe pulsacji ciśnienia w kanale spalin wylotowych dla różnych obciążeń silnika momentem obrotowym przedstawiono na rysunku 6.



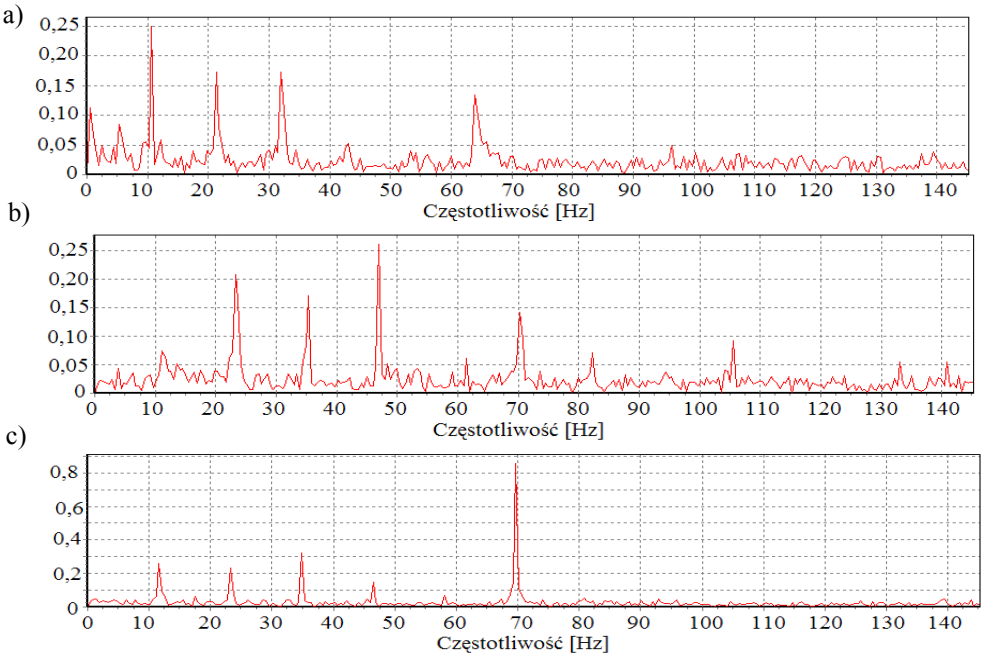
Rys. 4. Przykładowy przebieg ciśnienia spalin w przekroju kontrolnym kanału wylotu spalin silnika typu SW400 jako funkcji numeru próbki

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Przebieg ciśnienia spalin w kanale wylotowym silnika typu SW400 jako funkcji kąta obrotu wału korbowego: a) dla biegu luzem; b) dla obciążenia prądnicy mocą 10 kW: c) dla obciążenia prądnicy mocą 20 kW

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Widmo amplitudowe pulsacji ciśnienia w kanale spalin wylotowych silnika typu SW400: a) dla biegu luzem; b) dla obciążenia prądnicy mocą 10 kW; c) dla obciążenia prądnicy mocą 20 kW

Źródło: opracowanie własne.

WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonej analizy struktury konstrukcyjnej kanałów przepływowych spalin wylotowych silnika typu SW400 wytypowano przekrój kontrolny umożliwiający dostęp do przestrzeni gazowej kanału, w którym zainstalowano czujnik ciśnienia. Wstępna lokalizacja czujników ciśnienia zostanie w dalszych badaniach zmieniona, co umożliwi pomiar ciśnienia spalin w dwóch przekrojach kontrolnych kanału, pozwalając tym samym na wyznaczenie prędkości przemieszczania się szczytowej amplitudy fali ciśnienia spalin na odcinku pomiędzy czujnikami ciśnienia.

Z badań wstępnych wynika, że istnieje możliwość pomiaru ciśnienia spalin w kanale wylotowym silnika wolno ssącego. Przy większych obciążeniach momentem obrotowym odpowiadających mocy pobieranej z prądnicy na poziomie 10–20 kW rozróżnialne są impulsy ciśnienia generowane przez poszczególne sekcje cylindrowe silnika (rys. 5.). Pozwoli to w dalszych badaniach na określenie dysponowanego strumienia entalpii generowanego przez poszczególne sekcje cylindrowe silnika.

BIBLIOGRAFIA

[1] Biernat J., Girtler J., *Techniczna eksploatacja okrętów*, cz. I, *Elementy ogólnej teorii eksploatacji i zużycia urządzeń okrętowych*, WSMW, Gdynia 1983.

[2] Korczewski Z., Zacharewicz M., Bruski S., Łutowicz M., *Metoda diagnozowania silników okrętowych o ograniczonej możliwości pomiaru ciśnień wewnątrzcylindrowych na podstawie wyników badania procesów gazodynamicznych w układzie turbodoładowania*, sprawozdanie z realizacji projektu badawczego, AMW Gdynia 2008.

[3] Zacharewicz M., *Metoda diagnozowania przestrzeni roboczych silnika okrętowego na podstawie parametrów procesów gazodynamicznych w kanale zasilającym turbosprężarkę*, rozprawa doktorska, AMW, Gdynia 2009.

[4] Dokumentacja techniczna i eksploatacyjna Morskiego Zespołu Prądotwórczego ZE400/52.

PRELIMINARY INVESTIGATIONS OF TECHNICAL WORKING SPACES IN MARINE NOT LOADED ENGINES BASED ON MEASURMENTS OF THE GAS DYNAMICAL PARAMETERS INSIDE EXHAUST CHANNEL

ABSTRACT

The paper presents a description of auxiliary engines SW400 installed in the laboratory of Polish Naval Academy, an analysis of possibility to measure gas dynamical parameters of an exhaust in a discharge channel, capabilities of the system to measure and register fast changing parameters MA2005 and the way to use the system to estimate the technical condition of engine working spaces area. It also includes the results of preliminary investigations carried out on engine SW400.

Keywords:
marine diesel engines, diagnostics.