

BADANIA EKSPLOATACYJNE OKRĘTOWYCH TURBINOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH LM 2500

Adam CHARCHALIS, Paweł WIRKOWSKI

Akademia Marynarki Wojennej
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów
ul. Śmidowicza 69, 81-103 Gdynia, e-mail: pwirkowski@o2.pl

Streszczenie

W referacie przedstawiona została próba określenia jednej z metod oceny stanu technicznego elementów części przepływowej okrętowego turbinowego silnika spalinowego LM 2500, stanowiącego silnik napędu głównego okrętów Polskiej Marynarki Wojennej klasy fregata. Dążenia do zwiększenia efektywności eksploatacji wszelkiego typu silników wymuszają poszukiwania nieokreślonych dotychczas bądź doskonalenia istniejących sposobów utrzymania najbardziej ekonomicznej ich pracy. W związku z powyższym przeprowadzone zostały badania, których celem było zidentyfikowanie okrętowego systemu kontrolno-pomiarowego silnika LM 2500, utworzenie bazy danych parametrów charakteryzujących jego pracę oraz opracowanie ich charakterystyk eksploatacyjnych dla potrzeb diagnozowania. Wyniki tych badań pozwolą na opracowanie metody wnioskowania diagnostycznego o stanie technicznym silnika na podstawie pomiaru parametrów eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: okrętowy silnik turbinowy, diagnostyka techniczna, stan techniczny

EXPLOITATION'S RESEARCHES OF MARINE GASTURBINES LM 2500

Summary

In this paper there is presented test of working out one of the methods of determination of the technical condition of the gasturbine LM 2500 inner parts, that makes main propulsion engine of the Polish Navy ships frigate class. Aspirations for increase of the efficiency of exploitation all engines extort to search indefinite up to the present or to improve of existing methods of the keeping the most economic work of engines. Taking into account there were realised researches in order to identification of the ship's control system of the gasturbine LM 2500, making data base of the exploitation parameters and realization of exploitation characteristics for needs of diagnosing. Results of these researches gave possibility to realise the method of diagnosing conclusion about technical condition of the gasturbine on the base of the exploitation parameters measurement.

Keywords: marine gasturbine, technical diagnostics, technical condition

1. WSTĘP

Dążenia do zwiększenia efektywności eksploatacji wszelkiego typu silników wymuszają poszukiwania nieokreślonych dotychczas bądź doskonalenia istniejących sposobów utrzymania jak najbardziej ekonomicznej ich pracy. Problem ten dotyczy również okrętowe turbinowe silniki spalinowe będące na wyposażeniu Marynarki Wojennej RP. W związku z powyższym przeprowadzone zostały badania, których celem było zidentyfikowanie okrętowego systemu kontrolno-pomiarowego silnika LM 2500, utworzenie bazy danych parametrów charakteryzujących jego pracę oraz opracowanie ich charakterystyk eksploatacyjnych dla potrzeb diagnozowania. Wyniki tych badań pozwolą na opracowanie metody wnioskowania diagnostycznego o stanie technicznym silnika na podstawie pomiaru parametrów eksploatacyjnych.

Dla potrzeb badań w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów AMW skonstruowany został przenośny system pomiarowo-rejestacyjny SENG A10 661, umożliwiający jednoczesny pomiar i rejestrację parametrów eksploatacyjnych najbardziej charakteryzujących pracę silnika turbinowego LM 2500. Funkcjonowanie systemu oparte jest na procesorze sygnałowym i umożliwia jednoczesny pomiar dwunastu parametrów z częstotliwością próbkowania od 50 Hz do 80 kHz, co oznacza, że każdy parametr może być rejestrowany w zakresie co 0,24 ÷ 0,00015 sekundy.

2. PRZEBIEG BADAŃ

2.1 Identyfikacja okrętowego systemu kontro- lno-pomiarowego silników LM 2500

Silniki turbinowe LM 2500 są opomiarowane czujnikami, które zapewniają zdalny monitoring każdego silnika, jego modułu oraz systemu smarowania silnika oraz chłodzenia i oczyszczania oleju smarującego. Czujniki temperatury, prędkości obrotowej i drgań generują bezpośredni elektryczny sygnał wyjściowy. Czujniki ciśnienia wyposażone są w przetworniki do zamiany wartości ciśnienia na odpowiednie sygnały elektryczne. Odczyty z czujników są transmitowane do systemu kontroli bezpośrednio lub poprzez wolnostojącą szafę elektroniczną.

System okrętowy umożliwia pomiar m.in. następujących parametrów charakteryzujących pracę badanego silnika:

- ciśnienie powietrza na wlocie do sprężarki
- ciśnienie powietrza za sprężarką
- ciśnienie spalin na wlocie do turbiny napędowej
- temperatura powietrza na wlocie do sprężarki
- temperatura spalin na wlocie do turbiny napędowej
- prędkość obrotowa wirnika turbiny napędowej
- prędkość obrotowa wirnika wytwornicy spalin
- ciśnienie paliwa przed wtryskiwaczami

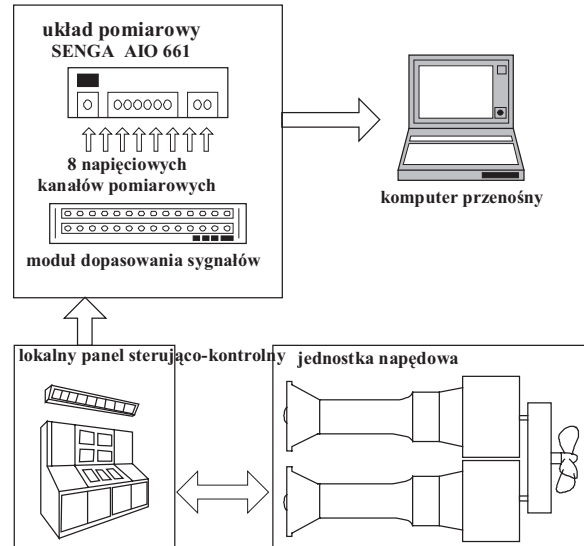
2.2. System pomiarowo-rejestacyjny SENG AIO 661

Okrętowy system pomiarowy uniemożliwia rejestrację wszystkich parametrów pracy silnika LM 2500 w tej samej chwili. Zapis wartości parametrów jest rozciągnięty w kilkuminutowym przedziale czasu, przy czym wartość każdego rejestrowanego parametru jest archiwizowana z chwili jego zapisu. Oznaczać to może, że w chwili zapisu wartości kolejnych rejestrowanych parametrów mogą istnieć odmienne warunki pracy silnika w stosunku do warunków odpowiadających wartościom wcześniej zapisanych parametrów.

W takiej sytuacji wnioskowanie o stanie technicznym silnika na podstawie analizy parametrów charakteryzujących jego pracę jest obciążone błędem wynikającym z niezachowania jednakowych warunków badań. Powyższy system rejestracji w zupełności wyklucza możliwość wykonywania badań silników w stanach przejściowych tj. akceleracja, deceleracja czy też rozruch, podczas których występuje gwałtowna zmiana wartości poszczególnych parametrów.

Rozwiązaniem problemu jednoczesnego pomiaru i rejestracji wyselekcjonowanych parametrów eksploatacyjnych najbardziej charakteryzujących pracę silnika turbinowego LM 2500 było skonstruowanie w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów AMW przenośnego komputerowego systemu pomiarowo-rejestacyjnego SENG AIO 661, przedstawionego na rys. 2.1.

Funkcjonowanie systemu oparte jest na procesorze sygnałowym i umożliwia jednoczesny pomiar dwunastu parametrów z częstotliwością próbkowania od 50 Hz do 80 kHz z podziałem na dwanaście kanałów. Oznacza to, że każdy parametr może być rejestrowany w zakresie co 0,24÷0,00015 sekundy.



Rys. 2.1. Schemat przepływu sygnałów pomiarowych systemu pomiarowo-rejestacyjnego SENG AIO 661

Tab. 2.1. Parametry mierzone przy wykorzystaniu systemu pomiarowo-rejestacyjnego SENG AIO 661

Nr toru	Oznaczenie	Zakres	Opis
1	N_{GG}	0÷12000 min ⁻¹	Prędkość obrotowa wytwornicy spalin
2	N_{PT}	0÷5000 min ⁻¹	Prędkość obrotowa turbiny napędowej
3	P_1	0÷0,11 MPa	Ciśnienie powietrza na wlocie do sprężarki
4	P_2	0÷2,07 MPa	Ciśnienie powietrza na wyjściu za sprężarką
5	P_{42}	0÷0,517 MPa	Ciśnienie spalin na wlocie do turbiny napędowej
6	T_1	-40÷65,6 °C	Temperatura powietrza na wlocie do sprężarki
7	T_{42}	0÷1090 °C	Temperatura spalin na wlocie do turbiny napędowej
8	P_{pal}	0÷104 MPa	Ciśnienie paliwa przed wtryskiwaczami
9	Starter ON	1/0	Sygnał początku i końca pracy rozrusznika

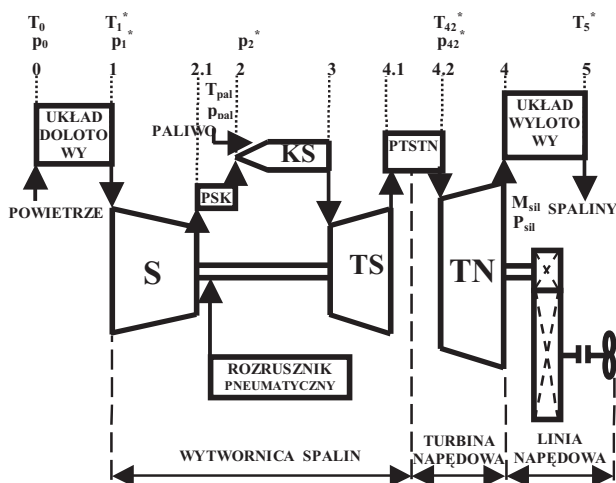
Opracowany system podczas wykonywania pomiaru przechowuje zarejestrowane wartości parametrów w pamięci wewnętrznej, a po zakończeniu cyklu pomiarowego przesyła je do komputera przenośnego, gdzie poddawane są obróbce numerycznej. Obecnie system jest w stanie mierzyć parametry pracy silnika przedstawione w tab. 2.1.

Wykonany system pomiarowo-rejestacyjny nie jest strukturą zamkniętą. Istnieje możliwość jego rozbudowy o kolejne kanały pomiarowe w zależności od potrzeb badań eksploatacyjnych. Rozbudowa

systemu pozwoli na jednoczesną rejestrację wartości parametrów charakteryzujących pracę wszystkich silników okrętowego układu napędowego.

3. OPRACOWANIE CHARAKTERYSTYK EKSPLOATACYJNYCH

Pomiary parametrów termogazodynamicznych czynnika roboczego dokonane w charakterystycznych przekrojach kontrolnych silnika są istotnym źródłem informacji diagnostycznej o stanie struktury konstrukcyjnej jego części przepływowej. Na rys. 3.1 przedstawiony jest schemat ideowy silnika LM 2500 z zaznaczonymi przekrojami kontrolnymi części przepływowej. Na schemat naniesione zostały również miejsca zamontowania czujników pomiarowych parametrów, mierzonych z wykorzystaniem standardowego systemu kontrolno-pomiarowego okrętu oraz przenośnego komputerowego systemu pomiarowo-rejestrującego SENG AIO 661.



Rys. 3.1. Schemat ideowy silnika LM 2500 z zaznaczonymi przekrojami kontrolnymi części przepływowej; S – sprężarka, PSK – przestrzeń pomiędzy sprężarką a komorą spalania, KS – komora spalania, TS – turbina sprężarki, PTST – przestrzeń pomiędzy turbiną sprężarki a turbiną napędową, TN – turbina napędowa

Parametry pracy silnika, uzyskane na podstawie badań, zostały zredukowane do parametrów atmosfery wzorcowej wg podanych niżej zależności:

- zredukowana moc silnika

$$P_{zr} = P_{zmierz} \left(\frac{101325}{P_{0zmierz}} \right) \sqrt{\frac{288,15}{T_{0zmierz}}} \quad (3.1)$$

- zredukowane ciśnienie powietrza za sprężarką

$$P_{2zr} = P_{2zmierz} \left(\frac{101325}{P_{0zmierz}} \right) \quad (3.2)$$

- zredukowane ciśnienie paliwa przed wtryskiwaczami

$$P_{pal.zr} = P_{pal.zmierz} \left(\frac{288,15}{T_{0zmierz}} \right) \sqrt{\frac{101325}{P_{0zmierz}}} \quad (3.3)$$

- zredukowane ciśnienie spalin na wlocie do turbiny napędowej

$$P_{4.2zr} = P_{4.2zmierz} \left(\frac{101325}{P_{0zmierz}} \right) \quad (3.4)$$

- zredukowana temperatura spalin na wlocie do turbiny napędowej

$$T_{4.2zr} = T_{4.2zmierz} \left(\frac{288,15}{T_{0zmierz}} \right) \quad (3.5)$$

- zredukowana prędkość obrotowa wytwornicy spalin

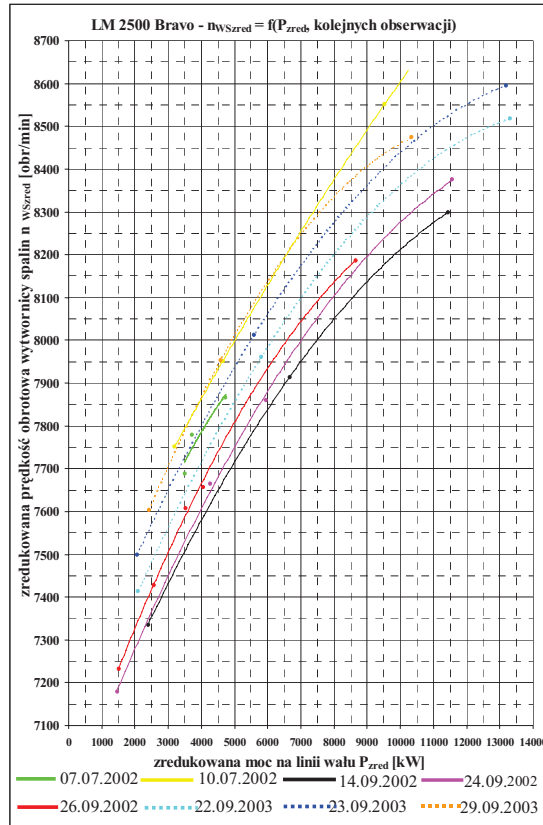
$$n_{WSzr} = n_{WSzmierz} \left(\frac{288,15}{T_{0zmierz}} \right) \quad (3.6)$$

- zredukowana prędkość obrotowa turbiny napędowej

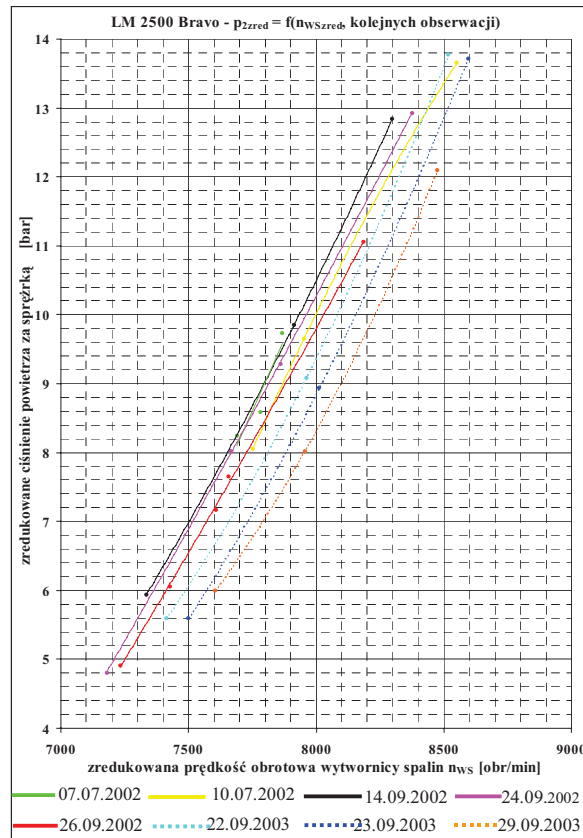
$$n_{TNzr} = n_{TNzmierz} \left(\frac{288,15}{T_{0zmierz}} \right) \quad (3.7)$$

Umożliwia to przeprowadzenie analizy jakościowej i ilościowej charakterystyk eksploatacyjnych poszczególnych silników podczas całego okresu eksploatacji niezależniąc się od wpływu zmiennych warunków atmosferycznych.

Zanieczyszczenia części przepływowej silnika turbinowego powoduje zmian warunków jego pracy. Związane jest to ze zmniejszeniem pola przekroju kanałów przepływowych silnika i wynikającym stąd zmniejszeniem strumienia masy czynnika roboczego.



Rys. 3.2. Zmiana prędkości obrotowej wytwornicy spalin w funkcji mocy na linii wału dla poszczególnych obserwacji



Rys. 3.3. Zmiana ciśnienia powietrza za sprężarką w funkcji prędkości obrotowej wytwornicy spalin dla poszczególnych obserwacji

Rys. 3.2 przedstawia sytuację, w której wraz z upływem czasu użytkowania silnika LM 2500 należy zwiększać prędkość obrotową sprężarki w celu utrzymania stałego obciążenia poprzez dostarczenie stałego strumienia masy powietrza. Po obserwacji z dnia 10.07.2002 nastąpiło odtworzenie stanu technicznego silnika (przemycanie), co spowodowało znaczący spadek prędkości obrotowej wytworknicy spalin przy uzyskiwaniu stałego obciążenia.

Pomiar ciśnienia za sprężarką również umożliwia przeprowadzenie analizy stanu technicznego (m.in. zanieczyszczenia) sprężarki w odniesieniu do silnika nowego (czystego). Na rys. 3.3 przedstawiona jest zmiana ciśnienia powietrza za sprężarką w funkcji jej prędkości obrotowej podczas zmieniającego się stanu technicznego. Wraz ze wzrostem zanieczyszczenia kanałów sprężarki zmniejszający się strumień powietrza powoduje spadek jego ciśnienia. Przemycie kanałów przepływowych silnika (po obserwacji 10.07.2002) pociąga za sobą osiągnięcie żądanych ciśnień powietrza przy mniejszych prędkościach obrotowych sprężarki. Dalsze użytkowanie silnika powoduje ponowne zanieczyszczenie kanałów sprężarki, którego intensywność zależy od stopnia i rodzaju zanieczyszczeń czynnika roboczego.

4. WNIOSKI

Obiektywna ocena stanu technicznego silnika turbinowego będącego w eksploatacji możliwa jest w wyniku przeprowadzenia pomiarów i analizy dostatecznie dużej liczby pomiarów.

Przeprowadzone badania umożliwiły określenie zmian rozpatrywanych parametrów pracy silnika LM 2500 w zależności od stanu zanieczyszczenia jego kanałów przepływowych. Najbardziej wartościowymi pod względem przekazywanej informacji diagnostycznej są następujące parametry: ciśnienie powietrza za sprężarką, ciśnienie temperatura spalin przed turbiną napędową, prędkości obrotowe wytworknicy spalin i turbiny napędowej oraz ciśnienie paliwa przed wtryskiwaczami.

LITERATURA

- [1] Charchalis A.: Diagnostowanie okrętowych silników turbinowych. Wyd. AMW, Gdynia 1991.
- [2] Charchalis A.: Założenia do diagnozowania turbinowych układów napędowych fregaty. XXVIII Ogólnopolska Konferencja „Diagnostyka Maszyn”, Katowice, 2001, str.119.
- [3] Wiencjulis Ł.C., Rybałko W.W., Marczukow N.A.: Turbinist flota, Wojennoje Izdatielstwo, Moskwa, 1988.



prof. dr hab. inż. Adam. CHARCHALIS, ur. w 1944 r. w Przemyślu. Studia I stopnia o kierunku „Maszynny i siłownie okrętowe” ukończył w 1968 r. w Wyższej Szkole Marynarki Wojennej, a studia II stopnia w 1971 r. na Wydziale Okrętowym Politechniki Gdańskiej. W latach 1968 - 1971 był oficerem mechanikiem na trałowcu ORP „Krogulec”. Od 1971 r. pracuje w Wyższej Szkole Marynarki Wojennej, obecnie Akademia Marynarki Wojennej, pełniąc w latach 1994 - 2003 obowiązki dziekana Wydziału Mechaniczno –Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej. Doktorat w 1978 r., habilitacja 1984 r., tytuł profesora 1994 r



mgr inż. Paweł WIRKOWSKI, ur. w 1975 r. w Białymstoku. W 1999 r. ukończył Wydział Mechaniczno – Elektryczny Akademii Marynarki Wojennej. Po odbyciu stażu na korwecie raketowej ORP „Metalowiec” w 2000 roku rozpoczął pracę w Instytucie Konstrukcji Napędów Okrętowych Akademii Marynarki Wojennej na stanowisku asystenta.