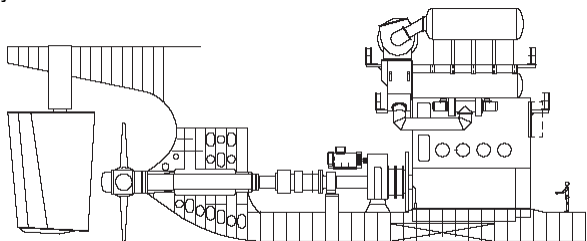


ZBIORY PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH DO IDENTYFIKACJI STANÓW TECHNICZNYCH OKRĘTOWEGO TŁOKOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO

W artykule omówione zostały zbiory parametrów diagnostycznych do identyfikacji stanów technicznych okrętowego tłokowego silnika spalinowego jako podstawy w tworzeniu modeli systemów diagnostycznych silników okrętowych.

WSTĘP

Własności transportowe budowanych statków wymuszają różne rozwiązania konstrukcyjne napędów głównych. Jednym z takich napędów jest dwusuwowy wodorowy tłokowy silnik spalinowy, najczęściej dużej i wielkiej mocy. Na statkach o dużej nośności i dużym zanurzeniu (ziornikowce do przewozu surowej ropy naftowej i masowce) silnik taki jest użyty bezpośrednio do napędu śruby okrętowej o relatywnie dużej średnicy. Szczególnie przy napędzie bezpośrednim niezawodność silnika głównego (SG) ma istotny wpływ na bezpieczeństwo statku. Dlatego też istotne jest prowadzenie takiej polityki eksploatacyjnej, która dąży do optymalizacji wskaźników eksploatacyjnych (wskaźników pracy) silnika, jak i minimalizowania ryzyka powstawania potencjalnych jego uszkodzeń, tzw. awarii. W tym celu koniecznym jest zastosowanie diagnostyki silnika do podejmowania racjonalnych decyzji eksploatacyjnych.



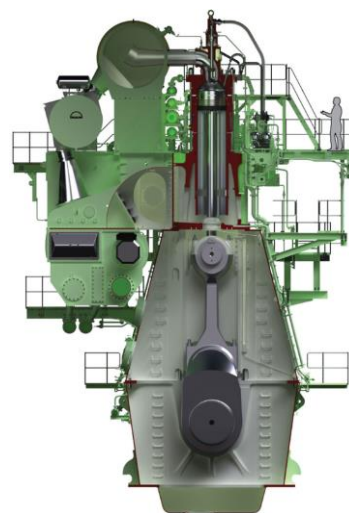
Rys. 1. Bezpośrednie połączenie silnika dwusuwowego wolnoobrotowego ze śrubą o dużej średnicy [3]

1. PROCES EKSPLOATACJI SILNIKA

Eksploatacja silnika jest procesem zmiennym w czasie. Proces ten jest oceniany według kryteriów pozwalających na porównanie zgodności przebiegu procesu rzeczywistego z modelem stworzonym w procesie projektowania. W rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych priorytetem jest nadzór przebiegu procesu eksploatacji silnika. Wymaga to analizowania efektywności wszystkich działań mających wpływ na pracę silnika. Wielokryterialność oraz różny poziom szczegółowości pomiarów umożliwiają racjonalną kontrolę. Dlatego też dokonano podziału parametrów diagnostycznych na kilka zbiorów, według ich przydatności do identyfikacji stanów odwzorowanych przez te parametry. Opisane poniżej zbiory parametrów charakteryzują zmiany, które są rezultatem istnienia różnorodnych procesów fizycznych i chemicznych. Często procesy te są od siebie zależne lub są odpowiednim następstwem. Poniżej dokonano identyfikacji przykładowych zbiorów parametrów mających istotne

znaczenie w diagnostyce okrętowego dwusuwowego wodorowego tłokowego silnika spalinowego [1]:

- zbiór parametrów termodynamicznych,
- zbiór parametrów wibroakustycznych,
- zbiór parametrów charakteryzujących własności fizykochemiczne olejów smarowych,
- zbiór parametrów geometrycznych charakteryzujących własności struktury konstrukcyjnej silnika



Rys. 2. Dwusuwowy wodorowy tłokowy silnik spalinowy, wielkiej mocy MAN-G95ME [2]

2. ZBIÓR PARAMETRÓW TERMODYNAMICZNYCH

Parametry termodynamiczne dostarczają operatorowi informacji dotyczących zamiany energii chemicznej paliwa na energię cieplną w procesie spalania oraz wymiany ciepła lub wydzielanie ciepła, w różnej formie np. na skutek działania sił tarcia zwłaszcza przy przerwaniu filmu olejowego w węzłach trybologicznych. Przedstawione poniżej informacje uzyskane z analizy tych parametrów służą do opisywania przebiegu procesów przemiany energii, stanu współpracujących elementów, ich struktury materiałowej lub stanu mediów mających wpływ na zachodzące w silniku procesy. Przyjęto następujący podział parametrów termodynamicznych:

1. Parametry termodynamiczne opisujące proces spalania mieszanki paliwowo powietrznej w komorze spalania:
 - maksymalne ciśnienie spalania,
 - maksymalna temperatura spalania,
 - średnie ciśnienie efektywne,
 - temperatura spalinowych gazów wylotowych.

2. Parametry termodynamiczne opisujące stan współpracujących elementów układu smarowania:
 - temperatura oleju chłodzącego tłoka,
 - temperatura wody chłodzącej tuleje cylindrowe,
 - temperatura oleju chłodzącego i smarującego łożyska główne i korbowe,
 - temperatura oleju chłodzącego i smarującego łożyska wozdżkowe,
 - temperatura denka tłoka.
3. Parametry termodynamiczne opisujące stan mediów mających wpływ na zachodzące w komorze spalania silnika procesy:
 - temperatura powietrza doładowania,
 - ciśnienie powietrza doładowania,
 - temperatura paliwa,
 - ciśnienie wtrysku paliwa.

3. ZBIÓR PARAMETRÓW WIBROAKUSTYCZNYCH

Silnik okrętowy posiada charakterystyczne właściwości sprężyste. Naruszenie stanu równowagi mechanicznej powoduje powstawanie drgań cząsteczek (wibracji) i wywołuje ruch falowy. Fale rozchodzące się w ośrodku sprężystym można scharakteryzować za pomocą parametrów, takich jak: amplituda, częstotliwość, kierunek rozchodzenia się fali czy ciśnienie akustyczne (w przestrzeniach zamkniętych). Fale te ulegają rozproszeniu, ugięciu, dyfrakcji i interferencji tworząc charakterystyczne widmo. Pole wibroakustyczne wytwarzane przez silnik jest bardzo złożone, posiada jednak swoje charakterystyczne właściwości, które jako nośniki informacji możemy nazwać parametrami wibroakustycznymi.

Parametry wibroakustyczne dostarczają informacji dotyczących przebiegu procesów (np. procesu spalania), stanu układów współpracujących elementów, jak i stanu struktury materiału, z którego wykonane są elementy silnika. Przyjęto następujące rodzaje parametrów wibroakustycznych:

- poziom hałasu,
- natężenie dźwięków,
- zakres częstotliwości dźwięków,
- częstotliwość widma wibroakustycznego,
- amplituda widma drgań,
- kierunek rozchodzenia się pola wibroakustycznego,
- ciśnienie akustyczne.

4. ZBIÓR PARAMETRÓW CHARAKTERYZUJĄCYCH WŁASNOŚCI FIZYKO-CHEMICZNE OLEJÓW SMAROWYCH

Zbiór parametrów charakteryzujących właściwości fizykochemiczne olejów smarowych jest to zbiór wskaźników określających klasę oleju, jego zdolność do zapewnienia prawidłowej pracy silnika, mających wpływ na skład spalin, stan silnika, odporność na działanie warunków zewnętrznych, zdolność do oczyszczania elementów silnika z zanieczyszczeń czy ochronę przed korozją. Skład chemiczny analizowanej próbki oleju może wskazywać na zużycie elementów silnika. Do głównych parametrów należą [53, 136]:

- lepkość kinematyczna,
- lepkość dynamiczna,
- temperatura zapłonu,
- liczba koksowania,
- zawartość twardych asfaltów,
- zawartość popiołów,
- zawartość wody,
- zawartość stałych ciał obcych,
- wskaźnik lepkości WL ,

- smarność,
- liczba zasadowa TBN ,
- skład chemiczny (określenie którego wymaga dokładnych, ale droższych badań).

5. ZBIÓR PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH CHARAKTERYZUJĄCYCH WŁASNOŚCI STRUKTURY KONSTRUKCYJNEJ SILNIKA

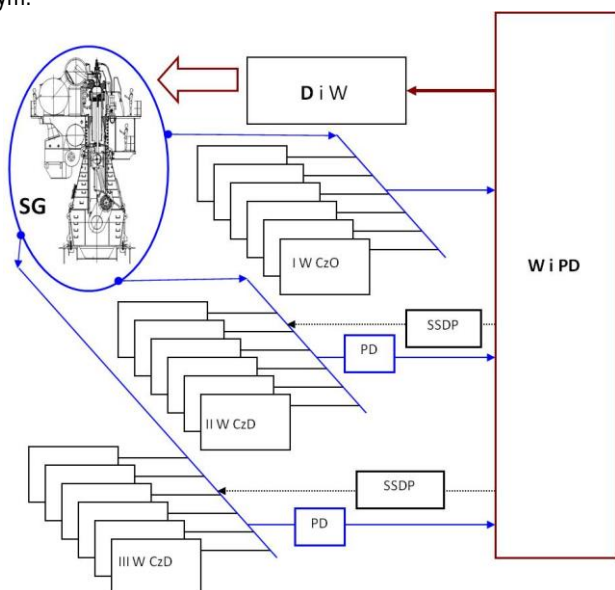
Współczesny tłokowy silnik spalinowy jest obiektem technicznym, którego konstrukcja jest wynikiem wieloletnich badań i doświadczeń, których priorytetem jest dążenie do zwiększenia efektywności pracy. Wiąże się to z koniecznością znalezienia optymalnego rozwiązania łączącego osiągnięcie maksymalnych mocy z cylindra przy możliwie najmniejszych rozmiarach i masie silnika, co wiąże się z zastosowaniem nowych, droższych technologii, a co za tym idzie wzrostem kosztów eksploatacyjnych. Współczesny silnik jest więc wynikiem kompromisu i w związku z tym cechy każdego jego elementu (kształt, wymiary, materiał) są wynikiem doświadczenia producenta, który ściśle określa zarówno graniczne wartości wymiarów i kształtu elementów oraz warunki pracy (parametry mediów roboczych, granice temperatur, zasady montażu i docierania, itp.).

Wymiary geometryczne elementów silnika zależne są od założonej mocy, planowanego obciążenia, charakteru pracy zależnej od przeznaczenia jednostki pływającej. Do głównych wymiarów należy średnica tłoka, skok tłoka, mających wpływ na maksymalne ciśnienie sprężania i ciśnienie efektywne. Istnieją parametry geometryczne doskonalone na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych i zależne od opisanych założeń głównych (zapotrzebowania mocy napędu głównego zależnej od oporów statku, zapotrzebowania na energię potrzebną do napędzania urządzeń pomocniczych, momentu na wale zależnego od zanurzenia statku i wielkości śruby, natomiast od rodzaju paliwa zależą parametry spalania, działanie niszczące agresywnych korozyjnie składników). Do parametrów geometrycznych mających wpływ na stan silnika możemy zaliczyć m.in. następujące wymiary i kształty:

- kształty geometryczne i wymiary pierścieni tłokowych,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne rowków tłokowych,
- wymiary geometryczne i kształt geometryczny tulei cylindrowej,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne połączeń łożyskowych (głównych, korbowych, krzyżulcowych),
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne krzywek rozrządu,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne rolek popychacza,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne popychacza,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne grzybów i gniazd zaworowych,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne kół zębatych i ogniw łańcucha napędu rozrządu,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne par precyzyjnych (zaworów wtryskowych, pomp wtryskowych, zaworów sterujących pneumatycznych i hydraulicznych),
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne trzonu tłoka i dławnicy przestrzeni podtłokowej.

6. MODEL SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO WYKORZYSTUJĄCY WYBRANE ZBIORY PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Przedstawione powyżej zbiory parametrów charakteryzujących różne struktury opisujące silnik (strukturę organizacyjną, materiałową, funkcjonalną, itp.), mogą być użyte w określonym modelu systemu diagnostycznego. Systemy te mają służyć zarówno procesom racjonalnego sterowania jak i określania trendów zmian stanów technicznych silników służących wsparciu decyzji operatora. Poniżej przedstawiono jeden z takich modeli, w którym do określenia stanu technicznego silnika użyto oceny wielokryterialnej, która pozwala na podniesienie poziomu trafności i wiarygodności diagnozy. Ponieważ parametry mają różną wagę, można je pogrupować w warstwy baz danych diagnostycznych o podobnym poziomie szczegółowości. Dlatego przedstawiony poniżej model nazwano modelem warstwowym.



Rys..3. Warstwowa struktura SDG: 1 - DiW - diagnoza i wizualizacja diagnozy, 2 - WiPD - wzmocnienie i przetwarzanie danych, 3 - I WczO - I warstwa czujników operacyjnych, 4 - II WCzD - II warstwa czujników diagnostycznych, 5 - III WCzD - III warstwa czujników diagnostycznych, 6 - SSDP - system stymulujący dodatkowe pomiary, 7 - PD - parametry diagnostyczne [1]

PODSUMOWANIE

W zmiennych trudnych morskich warunkach, w których decyzje eksploatacyjne mogą decydować o awarii napędu głównego statku, a co za tym idzie nawet o utracie statku i narażeniu życia załogi, trafność decyzji eksploatacyjnej ma szczególne znaczenie. W wielu przypadkach trendy zmiany stanu technicznego są jednoznaczne, co pozwala na zastosowanie rutynowych procedur, czyli działań najprostszych, najmniej pracochłonnych, zależnych od doświadczenia operatora. Istnieją jednak sytuacje, w których po wyczerpaniu działań zalecanych przez producenta nie można określić stanu technicznego silnika. Wymagana jest wtedy większa liczba parametrów diagnostycznych zwiększenie możliwości interpretacji danych diagnostycznych, żeby dokonać wiarygodnej i trafnej diagnozy. Dlatego też określenie zbiorów parametrów diagnostycznych oraz równoległe opracowanie stanów technicznych silnika pozwalają na określenie relacji diagnostycznych odwzorowujących zbiór stanów technicznych silnika w zbiór parametrów diagnostycznych [1].

BIBLIOGRAFIA

1. Łosiewicz Z., *Probabilistyczny model diagnostyczny silnika napędu głównego statku*. Rozprawa doktorska, Gdańsk 2008.
2. http://www.dieselduck.info/machine/01%20prime%20movers/diesel_engine/MAN-G95ME.jpg
3. <http://marine.man.eu>

Set of diagnostic parameters to identify technical states - book marine diesel engine

Paper discussed the set of diagnostic parameters to identify the technical condition of marine diesel engine as a basis for creating model of marine engine diagnostic system.

Autor:

dr inż. st.of.mech.okr. **Zbigniew Łosiewicz** – Zachodniopomorski Uniwersytet technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa i Energetyki
HORN.losiewicz@wp.pl, zbigniew.losiewicz@zut.edu.pl