ISSN 1733-8670

ZESZYTY NAUKOWE NR 5(77)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

OBSŁUGIWANIE MASZYN I URZĄDZEŃ OKRĘTOWYCH
O M i U O 2 0 0 5

Jan Monieta, Marek Łukomski

Metody i środki oceny cech stanu technicznego rozpylaczy wtryskiwaczy silników okrętowych typu Sulzer 6AL20/24

Słowa kluczowe: rozpylacze wtryskiwaczy, cechy stanu, metody pomiarów

Artykuł przedstawia metody i środki badań cech stanu technicznego rozpylaczy wtryskiwaczy okrętowych silników średnioobrotowych, które zostały wycofane z eksploatacji. Pomiaru wybranych cech stanu dokonano za pomocą badań geometrycznych i przepływowych. Przykładowe wyniki badań dają informacje o zakresach oraz rozkładach zużycia i uszkodzeń rozpylaczy wtryskiwaczy.

Methods and Means of Estimation of Technical State Features of the Marine Diesel Engines Injector Nozzles Type Sulzer 6AL20/24

Key words: injector nozzles, features of state, methods of measurements

The article shows methods and means of investigations of the technical state features of marine medium-speed engines, which were withdrawn from operation. Measurements of selected features of state were realised through geometrical and flow testing. Examples of the results give information about ranges and distributions of the wear and failures of injection nozzles.

Wstęp

Rozpylacze wtryskiwaczy spalinowych silników wysokoprężnych posiadają wiele parametrów konstrukcyjnych, które powinny w czasie produkcji zawierać się w określonych granicach dla zapewnienia stanu zdatności. W wyniku eksploatacji rozpylaczy, przy oddziaływaniu różnych czynników wymuszających, roboczych i zewnętrznych, dochodzi do intensywnego zużycia i uszkodzeń, zmian tych parametrów oraz przejścia ze stanu zdatności do stanu dopuszczalnego lub stanu niezdatności [3, 8, 7].

Niektóre z tych parametrów zmieniają się intensywnie, inne mniej intensywnie, jednak rozpylacz znajduje się w stanie zdatności, gdy wszystkie parametry konstrukcyjne znajdują się w przedziałach stanu zdatności, co jest trudne do spełnienia przy wąskich przedziałach stanu zdatności niektórych cech [5].

Pomiary różnych cech stanu technicznego w czasie wytwarzania w specjalistycznych zakładach produkcyjnych, ze względu na trudności pomiarowe i czasochłonność, są realizowane tylko częściowo [9]. W czasie eksploatacji, przy wykonywaniu czynności obsługowych, ze względu na skromne środki użytkowników, ograniczają się oni raczej do kontroli oceny funkcjonowania [4]. Trochę lepiej wyposażone w metody i środki są zakłady odnawiające aparaturę wtryskową. Sytuacje takie mogą prowadzić do powstawania błędów zakwalifikowania rozpylaczy niezdatnych jako zdatne lub zdatnych jako niezdatne [7, 8, 9].

Uznano, więc za celowe wykonanie pomiaru wycofanych z eksploatacji rozpylaczy wtryskiwaczy i ocenę trafności podjętych decyzji eksploatacyjnych.

1. Istotne cechy stanu technicznego rozpylacza wtryskiwaczy

Cechy konstrukcyjne rozpylacza w różnym stopniu wpływają na proces wtrysku paliwa. Do najważniejszych z nich należą (rys. 1) [1, 3, 7]:

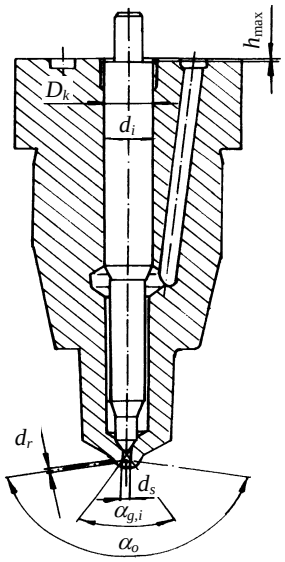
- liczba, przekroje i stan powierzchni otworów doprowadzających paliwo;
- kształty i wymiary stożków korpusu i iglicy;
- maksymalny skok iglicy;
- kształty, liczba i średnice otworków rozpylających, ich rozmieszczenie i nachylenie;
- wymiary studzienki rozpylacza;
- luz w części korpusu rozpylacza prowadzącej iglicę.

Ogólnie czynniki wpływające na niezawodne działanie rozpylaczy można podzielić na: konstrukcyjne, technologiczne, produkcyjne i eksploatacyjne [3, 6].

2. Obiekty badań

Badaniom poddano rozpylacze 9 × 0,25 R i 9 × 0,23 R układów wtryskowych okrętowych silników typu 6AL20/24 napędu prądnic, eksploatowane w rzeczywistych warunkach. Były to rozpylacze dziewięciootworkowe o średnicy nominalnej otworka 0,25 i 0,23 mm z elektroerozyjnym zaokrągleniem krawędzi otworków. Wymienione rozpylacze zostały wyłączone z eksploatacji po stwierdzeniu niewłaściwego ich działania lub wymieniano je profilaktycznie, a w czasie weryfikacji odrzucono.

Przekrój rozpylacza silnika okrętowego typu AL20/24 z zaznaczonymi, istotnymi cechami konstrukcyjnymi przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przekrój rozpylacza silnika okrętowego typu AL20/24: d_i – średnica części prowadzącej iglicy, D_k – średnica części korpusu rozpylacza prowadzącej iglicę, d_r – średnica otworka rozpylającego, d_s – średnica studzienki, h_{max} – maksymalny skok iglicy, α_g – kąt stożka gniazda uszczelniającego w korpusie rozpylacza, α_i – kąt wierzchołkowy stożka iglicy, α_o – kąt rozmieszczenia otworków rozpylających

Fig. 1. Cross-section of injector nozzle of marine diesel engine type 6AL20/24

Kadłuby rozpylaczy są wykonane ze stali WCLVŻ, ulepszane cieplnie do twardości 37 ÷ 42 HRC oraz azotowane. Iglice wykonane są ze stali szybkotnącej SW7M o twardości 62 ÷ 64 HRC.

Rozpylacze te były produkowane przez różnych dostawców na licencji firmy Sulzer oraz eksploatowane na statkach o nieograniczonym zakresie pływania [8]. Przeznaczone były do wtrysku oleju napędowego pochodzącego od różnych dostawców w zależności od rejonu pływania.

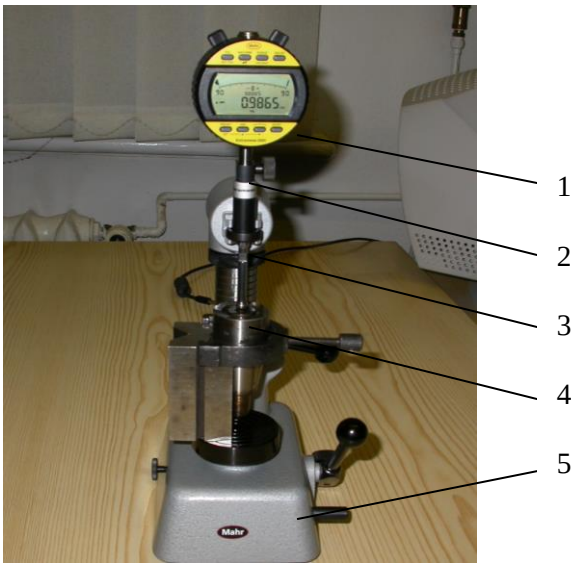
3. Metoda pomiaru cech makro- i mikrogeometrycznych rozpylaczy

3.1. Pomiary geometryczne

Wśród pomiarów geometrycznych rozpylaczy wykonano pomiary: średnic części prowadzących iglicy, średnic części korpusu prowadzących iglicę, maksymalnego skoku iglicy i kąta wierzchołkowego stożków iglicy. Przed wykonaniem pomiarów rozpylacze umyto w benzynie ekstrakcyjnej i osuszono. Z rozpylaczy nie usuwano nierozpuszczalnych w benzynie osadów, powodujących zmiany wartości cech stanu technicznego.

Do pomiarów średnic iglic zastosowany był mikrometr cyfrowy, umożliwiający odczyt z rozdzielczością 0,0005 mm. Średnica części prowadzącej iglicy została zmierzona w trzech płaszczyznach prostopadłych do osi wzdłużnej i w czterech przekrojach dla każdej z nich [5]. Każdy z przekroi przechodzi przez oś wzdłużną co 45°. Mierzona iglica była w czasie pomiaru umieszczona w pryzmie pomiarowej.

Do pomiaru wewnętrznej średnicy części prowadzącej korpusu rozpylacza użyto samocentrującej cyfrowej średnicówki czujnikowej z końcówką rozprężną (rys. 2). Średnicówkę zamocowano w statywie pomiarowym z regulowaną wysokością podnoszenia.



Rys. 2. Widok stanowiska do pomiaru średnicy wewnętrznej korpusu rozpylacza: *1* – czujnik, *2* – głowica pomiarowa, *3* – końcówka pomiarowa, *4* – rozpylacz, *5* – statyw
Fig. 2. View of stand for measurement of inside diameter of injector body

Średnicówka posiadała działkę elementarną 0,0002 mm, a powtarzalność pomiarów przy tego typu statywie nie przekracza 0,5 μm. Przed pomiarem zostało ustawione wskazanie zerowe czujnika według pierścienia wzorcowego, którego wymiary oraz błędy kształtu zmierzono z jeszcze większymi rozdzielczościami. Pomiary średnic dokonywane były w trzech płaszczyznach prostopadłych do osi wzdłużnej oraz czterech przekrojach, przechodzących co 45° przez ich osie.

Na podstawie zmierzonych średnic części prowadzących korpusu i iglicy wyznaczono luz minimalny i maksymalny w trzech płaszczyznach [5], a następnie luz średni według wzoru:

$$L_{śr} = \frac{L_{\min} + L_{\max}}{2} \tag{1}$$

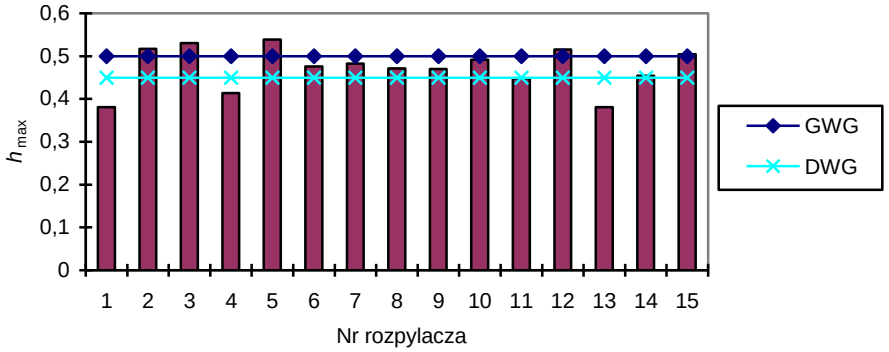
gdzie:

$L_{\min}$ – luz średnicowy minimalny,

$L_{\max}$ – luz średnicowy maksymalny.

Pomiary maksymalnego skoku iglicy wykonane zostały za pomocą statywu i czujnika cyfrowego przedstawionego na rysunku 2, lecz z wykorzystaniem innej końcówki. Ze względu na wymagany zakres pomiarów, w pomiarze tym wykorzystywano działkę elementarną 0,0005 mm.

Pomiary przeprowadzono w dwóch płaszczyznach przechodzących przez oś rozpylacza co 90°. Za wartość maksymalnego skoku iglicy $h_{\max}$ (rys. 3) przyjęto najmniejszą odległość między powierzchnią przylgową korpusu rozpylacza a oporową iglicy uzyskaną w czterech pomiarach dokonanych przy niezmienionym położeniu iglicy.

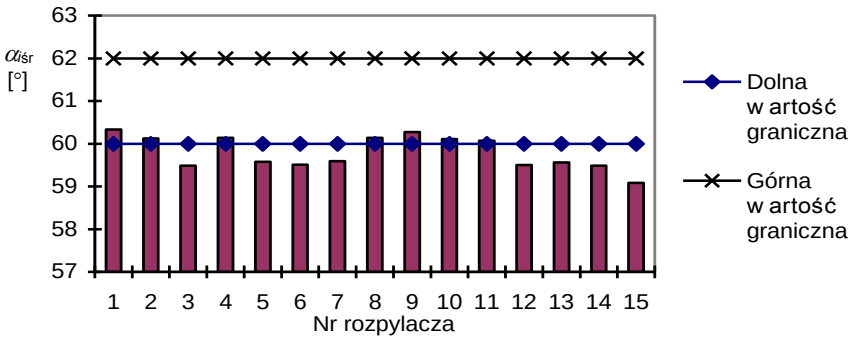


Rys. 3. Wyniki pomiarów maksymalnego skoku iglicy rozpylaczy: *GWG* – górna wartość graniczna, *DWG* – dolna wartość graniczna

Fig. 3. The results of measurements of maximum needle lift of injector nozzles

Zwiększony skok iglicy spowodowany był zużyciem gniazd i iglic rozpylaczy, a zmniejszony – tworzeniem się osadów i nagarów.

Do pomiaru kąta wierzchołkowego stożka uszczelniającego iglicy zastosowany został mikroskop warsztatowy. Pomiar kątów wykonano z działką elementarną o wartości 1′. Na każdej iglicy przeprowadzono pomiar w czterech płaszczyznach, przechodzących przez oś co 45°. Ostateczny wynik kąta stanowiła wartość średnia z czterech pomiarów. Przykładowe wartości pomiaru kąta wierzchołkowego stożka iglicy wraz z liniami granicznymi pokazano na rysunku 4.



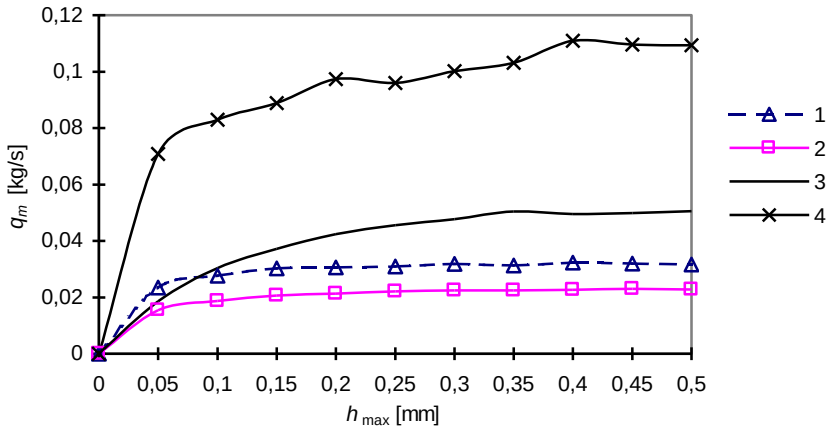
Rys. 4. Wyniki pomiarów kątów stożków wierzchołkowych iglic rozpylaczy
Fig. 4. The results of measurements of apex angle of cones of injector needle

3.2. Pomiary przepływowe

Na stanowisku przepływowym mierzono czasy wypływu masy 5 kg fluidu kalibracyjnego pod ciśnieniem 10 ± 5 MPa i temperaturze 35 ± 2°C przy stopniowanych wartościach maksymalnego skoku iglicy co 0,05 mm [10]. Na podstawie uzyskanych wyników wykonano charakterystyki hydrauliczne strumienia masy q_m w zależności od maksymalnego skoku iglicy h_{max} (rys. 5).

Rysunek ten wskazuje na znaczne zróżnicowanie właściwości przepływowych rozpylaczy. Rozpylacz z pękniętym korpusem powodował bardzo intensywny przepływ czynnika, co w eksploatacji byłoby bardzo niekorzystne dla stanu silnika.

Oprócz charakterystyk hydraulicznych, o stanie technicznym dawały informacje strumienie masy przy maksymalnym skoku iglicy, dla których producent określił wartości graniczne [5]. W czasie badań przepływowych można było również stwierdzić drożność otworków rozpylających. Niektóre otworki w czasie prób przepływowych przy dużym dławieniu udrożniły się, pod działaniem znacznego i utrzymującego się przez dłuższy okres czasu ciśnienia.



Rys. 5. Przykładowe charakterystyki hydrauliczne badanych rozpylaczy: *1* – rozpylacz z pękniętym korpusem, *2* – rozpylacz o prawidłowym strumieniu przepływu przy maksymalnym skoku iglicy, *3* i *4* – rozpylacze z niedrożnymi otworkami i niedostatecznym strumieniu przepływu
Fig. 5. Exemplary hydraulic characteristics of investigated injector nozzles

3.3. Ocena uzyskanych wyników

Wyniki pomiarów dokonanych przedstawionymi metodami zapisano binarnie, przypisując cyfrę 1 dla wyniku pomiaru cechy znajdującej się w polu tolerancji i 0 dla wyniku poza polem tolerancji. Na podstawie zapisów binarnych wyznaczono udział cech rozpylaczy w stanie zdatności wg wzoru:

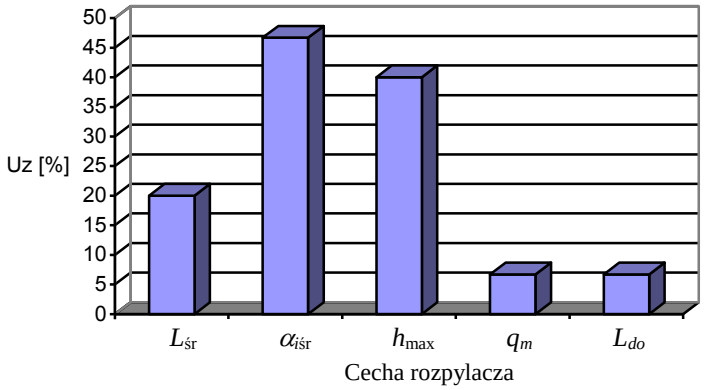
$$U_z = \frac{\sum_{i=1}^{i=l} C_{wi}}{\sum_{i=1}^{i=l} C_{wi} + \sum_{j=1}^{j=m} C_{pj}} 100\% \tag{2}$$

gdzie:

C_{wi} – i-ta cecha stanu znajdująca się w polu tolerancji stanu zdatności,

C_{pj} – j-ta cecha stanu znajdująca się poza polem tolerancji stanu zdatności.

Wyniki analizy zestawiono na rysunku 6. Z rysunku wynika, że najwięcej stanów niezdatności stwierdzono ze względu na niedrożności otworków rozpylających i związany z tym niedostateczny strumień przepływu, a najwięcej kątów stożków wierzchołkowych iglic mieściło się w polu tolerancji stanu zdatności. Rozpylacz należy uznać za znajdujący się w stanie zdatności, gdy wszystkie wartości cech mieszczą się w polu tolerancji stanu zdatności.



Rys. 6. Udział cech rozpylaczy wtryskiwaczy znajdujących się w polu tolerancji stanu zdatności: L_{do} – liczba drożnych otworków

Fig 6. The share of the features of injector nozzles in the tolerance range of up state

Podsumowanie

Przedstawione metody i środki pozwoliły dokonać pomiarów wielu cech stanu technicznego rozpylaczy. Zastosowane metody umożliwiły dokładniejszą ocenę mierzonych wielkości strumienia masy, luzu promieniowego i maksymalnego skoku iglicy niż w poprzednich badaniach [5]. Wymagane było jednak korzystanie z wielu różnych stanowisk. Pomiary okazały się również czasochłonne, stąd producenci dokonują dokładnych pomiarów istotnych parametrów konstrukcyjnych losowej liczby spośród badanych rozpylaczy.

Badania wykazały, że wszystkie sprawdzane rozpylacze znajdowały się w stanie niezdatności, ponieważ wśród nich nie było takiego, którego wszystkie wartości cech stanu znajdowały się w polu tolerancji stanu zdatności. Zatem zostały słusznie wycofane z eksploatacji przez użytkowników i obsługujących. Badania te pozwoliły również określić zakresy zmian poszczególnych cech stanu technicznego oraz ustalić najsłabsze węzły konstrukcyjne rozpylaczy tego typu, co powinno być pomocne w planowaniu symulacyjnych badań diagnostycznych.

Literatura

1. Baloiu S. i in., *Cercetări experimentale privind coleratia dintre jetul di combustabil, architektura camerei de ardere divicate cu functionare intermientă si miscarea de rotatie a fluidului motor*, Constructia di masini 1988, no 2, s. 65 – 70.

2. Drozdowski J., *Studium obciążeń cieplnych, kawitacji i niezawodności rozpylaczy silników okrętowych*, Studia Nr 30, Wyd. Wyższej Szkoły Morskiej, Szczecin 1998.
3. Gąsowski W., *Wpływ zużycia na charakterystyki hydrauliczne i wzrost koksowania rozpylaczy silników wysokoprężnych*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn nr 3 – 4, 1986, s. 527 – 537.
4. ISO 8984. Diesel engines. Testing of fuel injectors.
5. Jermak C., Monieta J., *Pomiary cech stanu technicznego rozpylaczy silników okrętowych spalających olej napędowy*, Diagnostyka vol. 31, 2004, s. 7 – 12.
6. Krasowski E., *Wpływ zużycia par precyzyjnych na parametry pracy silnika wysokoprężnego*, Praca naukowa Politechniki Lubelskiej, Mechanika, nr 45, Lublin 1990.
7. Monieta J., *Diagnostyka kontrolna wtryskiwaczy silników okrętowych z zastosowaniem parametrów procesów roboczych i towarzyszących*, Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, nr 4, 2001, s. 167 – 179.
8. Monieta J., *Problemy eksploatacji wtryskiwaczy silników Sulzer 6AL20/24D*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, nr 1(73), Szczecin 2004, s. 423 – 432.
9. Monieta J., *Problemy jakości wytwarzania wtryskiwaczy silników okrętowych typu AL20/24*, Marine Technology 2000, Szczecin – Dziwnówek 2000, s. 211 – 217.
10. Monieta J., Wasilewski M., *Wykorzystanie strumienia przepływu do oceny zużycia otworków rozpylających silników okrętowych,* Tribologia nr 5, 2001, s. 947 – 961.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2005 r.

Recenzenci

doc. dr inż. Vladimir Puchov
dr hab. inż. Piotr Bielawski, prof. AM

Adresy Autorów

dr inż. Jan Monieta
inż. Marek Łukomski
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych
ul. Wały Chrobrego 1/2, 70-500 Szczecin