GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Journal of Polish CIMEEAC
Faculty of Ocean Engineering & Ship Technology
GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

STATYSTYKA F ROZKŁADU FISHERA-SNEDECORA JAKO NARZĘDZIE DO OCENY ISTOTNOŚCI WPŁYWU MOCY SILNIKA O ZS NA WYBRANE MIARY DIAGNOSTYCZNE

Patrycja Puzdrowska

Politechnika Gdańska
Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa
Katedra Siłowni Morskich i Lądowych
80-233 Gdańsk ul. G. Narutowicza 11/12, tel: +48 58 347 16 14
e-mail: patpuzdr@pg.edu.pl

Streszczenie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono zastosowanie statystyki F rozkładu Fishera-Snedecora do oceny istotności wpływu obciążenia silnika o ZS, na obserwowany parametr diagnostyczny, wyznaczany na podstawie pomiarów szybkozmiennej temperatury spalin w kanale wylotowym, jakim jest entalpia właściwa strumienia spalin wylotowych w zakresie jednego cyklu pracy silnika. Przedstawiono plan badań eksperymentalnych przeprowadzonych na jednocylindrowym silniku laboratoryjnym Farymann Diesel typ D10, jak również scharakteryzowano metodę wyznaczania wartości statystyki F dla uzyskanych wyników pomiarowych. Przedstawiono wyniki przeprowadzonych obliczeń oraz dokonano oceny siły oddziaływania parametru wejściowego (P_{obc}) na mierzony parametr diagnostyczny (h_{spal}). Przedstawiono metodę wyznaczania strumienia entalpii spalin, jako składnika bilansu energii w silniku w postaci wykresu strumieniowego Sankey'a. Planuje się dalsze rozwinięcie programu badań eksperymentalnych, mających na celu określenia istotności wpływu zmian wartości wytypowanych parametrów struktury konstrukcyjnej silnika na inne zdefiniowane parametry diagnostyczne, jakimi są: średnia wartość międzyszczytową, a także szybkość (intensywność) wzrostu oraz spadku jej wartości dla pojedynczych cykli pracy.

Słowa kluczowe: silnik o ZS, temperatura spalin wylotowych, statystyka F rozkładu Fishera-Snedecora, diagnozowanie.

1. Wstęp

Diagnostyka przestrzeni roboczych silnika o zapłonie samoczynnym (o ZS), wraz z kanałami powietrza dolotowego i spalin wylotowych, jest istotnym zagadnieniem eksploatacyjnym [Korczewski 2017, Zacharewicz 2009]. Kluczowym etapem diagnozowania jest proces wnioskowania parametrycznego, pozwalający określić zależności pomiędzy stanem struktury konstrukcyjnej silnika o ZS a obserwowanymi parametrami jego pracy (parametrami kontrolnymi) [Jaremkiewicz 2011, Łutowicz 2006]. Jednym z parametrów wyjściowych silnika umożliwiającym na takie działanie jest szybkozmienna temperatura rejestrowana w kanale spalin wylotowych [Olczyk 2007, Puzdrowska 2019]. Chcąc jednak opracować metodykę diagnozowania opartą na tym parametrze, należy przede wszystkim opracować odpowiednią technologię pomiaru, uwzględniającą szeroko rozumiane warunki realizacji badań oraz niepewność pomiarową. W przypadku dynamicznych pomiarów temperatury spalin najoczywistsze wydaje się zastosowanie termopar o jak najmniejszej inercyjności [Korczewski i Puzdrowska 2015]. Jej przebieg czasowy, uzyskany podczas

badań na obiekcie rzeczywistym, jakim jest silnik o ZS, jest obarczony licznymi zakłóceniami wynikającymi z wpływów otoczenia oraz sieci pomiarowej. Należy zatem w pierwszej kolejności poddać go odpowiedniej obróbce matematycznej pozwalającej odtworzyć przebieg najbardziej zbliżony do rzeczywistego [Puzdrowska 2018]. Jednakże nie będzie on badaczowi do niczego przydatny, bez odpowiednio opracowanego programu badań oraz właściwie dobranego narzędzia do analizy statystycznej i merytorycznej uzyskanych danych pomiarowych [Korzyński 2017, Pabis 1985].

Podczas badania diagnostycznego silnika, w czasie ustalonej pracy, otrzymuje się spośród jego parametrów wyjściowych Y parametry diagnostyczne D, które reagują silniej na zmiany wartości parametrów struktury konstrukcyjnej S niż na zmiany wartości parametrów wejściowych X, wymuszających realizowany proces roboczy. Podstawowym warunkiem wyboru odpowiednich parametrów diagnostycznych jest znacznie większa wrażliwość parametru wyjściowego względem parametru struktury $W^Y{}_S$ od jego wrażliwości względem parametru wejściowego $W^Y{}_X$ [Korczewski 2017]:

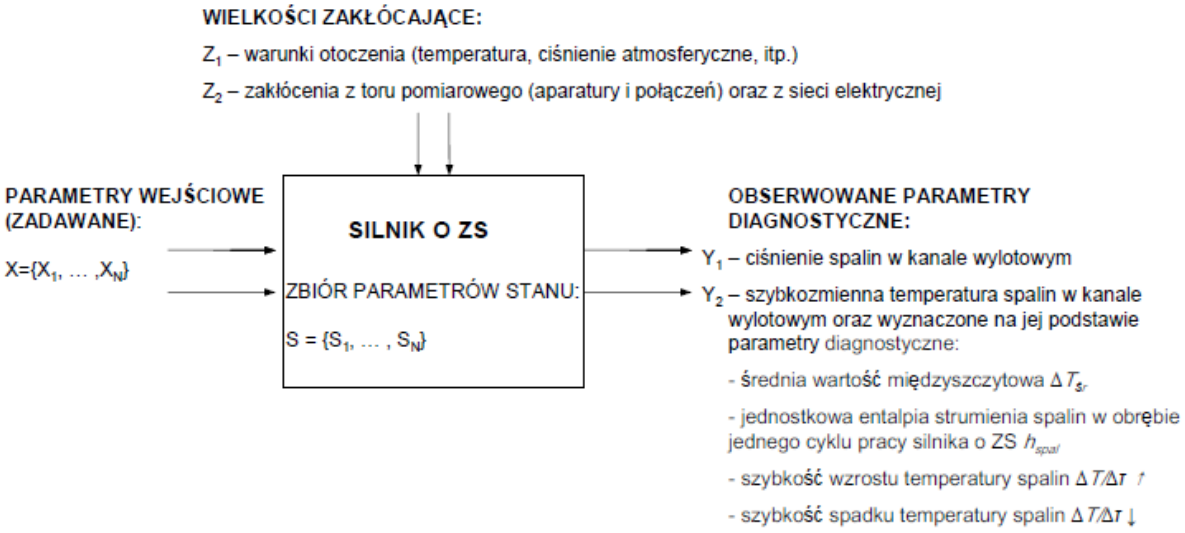
$$W_S^Y = \frac{\delta Y}{\delta S} = \frac{\frac{\Delta Y}{Y_0}}{\frac{\Delta S}{S_0}} = \frac{\frac{Y_{pom} - Y_0}{Y_0}}{\frac{S_{pom} - S_0}{S_0}} >> W_X^Y = \frac{\delta Y}{\delta X} = \frac{\frac{\Delta Y}{Y_0}}{\frac{\Delta X}{X_0}} = \frac{\frac{Y_{pom} - Y_0}{Y_0}}{\frac{X_{pom} - X_0}{X_0}} \tag{1}$$

Porównywanie wrażliwości wielu parametrów kontrolnych, podawanych w różnych jednostkach miary, wymusza konieczność przyjmowania do tego celu względnych wartości parametrów wejściowych, wyjściowych i struktury.

Istnieje wiele metod oceny istotności wpływu parametrów wymuszających analizowany proces fizyczny na jego przebieg. Należą do nich m.in. pojęcie znane z klasycznej analizy matematycznej, jakim jest odległość pomiędzy funkcjami (metryka), entropia informacyjna pochodząca z teorii informacji (sformułowana po raz pierwszy w 1945 przez Shannona), a także nieparametryczne i parametryczne testy statystyczne [Korzyński 2017, Kudrewicz 1976, Korczewski 2017, Shannon 1945].

W przypadku oceny istotności wpływu jednego parametru wejściowego silnika lub jednego parametru struktury konstrukcyjnej na jeden parametr wyjściowy, jakim jestszybkozmienna temperatura spalin wylotowych, najodpowiedniejsze wydaje się zastosowanie programu badań statycznego randomizowanego kompletnego oraz przyjęcie do analizy statystyki F rozkładu Fishera – Snedecora [Korzyński 2017, Wojtatowicz 1998].
Koniecznym do wyznaczenia istotności wpływu obciążenia silnika na zdefiniowane, obserwowane w procesie diagnozowania, parametry wyjściowe, było zrealizowanie badań zgodnie z uproszczonym modelem fizycznym procesu roboczego silnika o ZS przedstawionym na rys. 1.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 1. Uproszczony model fizyczny procesu roboczego silnika o ZS dla potrzeb diagnozowania

2. Statystyka F rozkładu Fishera-Snedecora jako narzędzie do oceny istotności wpływu

Ze względu na charakter prowadzonych badań zastosowano program statyczny randomizowany kompletny [Korzyński 2017], który pozwala na ocenę istotności wpływu jednego czynnika wejściowego na czynnik wyjściowy. Hipoteza zerowa, formułowana z góry i weryfikowana w badaniach statystycznych, zakłada brak wpływu czynnika wejściowego na czynnik wynikowy. Wpływ czynnika wejściowego uważa się za istotny, gdy wartość obliczeniowa przyjętej statystyki jest równa lub większa od wartości krytycznej, podawanej w tablicach dla przyjętej wartości poziomu istotności i liczby stopni swobody. Uznano, że w prowadzonych badaniach diagnostycznych najlepiej jest przyjąć statystykę F rozkładu Fishera - Snedecora, ponieważ spełnione zostały warunki zastosowania jednostronnych testów parametrycznych. W prowadzonych badaniach założono z góry, że wyniki pomiarów wszystkich parametrów kontrolnych można zamodelować jako zmienne o rozkładzie normalnym, o określonej wariancji będącej miarą rozrzutu wokół wartości średniej. Przyjęto także, że wariancje zmiennych losowych są równe lub zbliżone co do wartości, a zastosowane testy parametryczne dotyczące wariancji są z jednostronnym obszarem krytycznym. Uwzględniono także możliwość popełnienia błędu pierwszego rodzaju wiążącego się z przyjętym arbitralnie poziomem istotności, tzn. prawdopodobieństwem odrzucenia hipotezy zerowej wtedy, gdy jest ona prawdziwa. Należy pamiętać jednak także o możliwości popełnienia błędu drugiego rodzaju, czyli przyjęcia hipotezy zerowej, gdy jest ona fałszywa, wynoszącego $\beta=1-\alpha$.

W tabeli 1 zaprezentowano przykładową matrycę programu badań eksperymentalnych, w tym wypadku planu statycznego randomizowanego, pozwalającego na ocenę istotności wpływu czynnika wejściowego rozpatrywanego w badaniach diagnostycznych silnika – jego obciążenia zadawanego w określonym przedziale zmienności, według charakterystyki regulatorowej, P_{obc} na wyznaczany w tych badaniach parametr diagnostyczny (czynnik wyjściowy), jakim jest jednostkowa entalpia strumienia spalin wylotowych w zakresie jednego cyklu roboczego- h_{spal}.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tab. 1. Matryca programu badań eksperymentalnych - plan statyczny randomizowany kompletny

Poziom czynnika wejściowego	Numer doświadczenia		
	1	...	6
P_{obc1}	h_{spal11}	...	h_{spal61}
P_{obc2}	⋮	⋮	⋮
P_{obc3}	h_{spal13}	...	h_{spal63}

Wartość testową (obliczeniową) statystyki F rozkładu Fishera – Snedecora[1] wyznacza się na podstawie następującej zależności:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{p} n_i \cdot (\overline{h_i} - \overline{h})^2 \cdot (n-p)}{[\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{q}(h_{ij} - \overline{h})^2 - \sum_{i=1}^{p} n_i \cdot (\overline{h_i} - \overline{h})^2] \cdot (p-1)} \tag{2}$$

gdzie: n_i – liczba pomiarów entalpii właściwej na danym poziomie, n – całkowita liczba pomiarów, $\overline{h_i}$ - średnia entalpia właściwa z wyników pomiarów w i-tym wierszu, $\overline{h}$ - średnia entalpia właściwa wyników ze wszystkich pomiarów, h_{ij} – wartość j-tej entalpii właściwej na poziomie i, p – liczba poziomów zmienności czynnika wejściowego (obciążenia silnika).

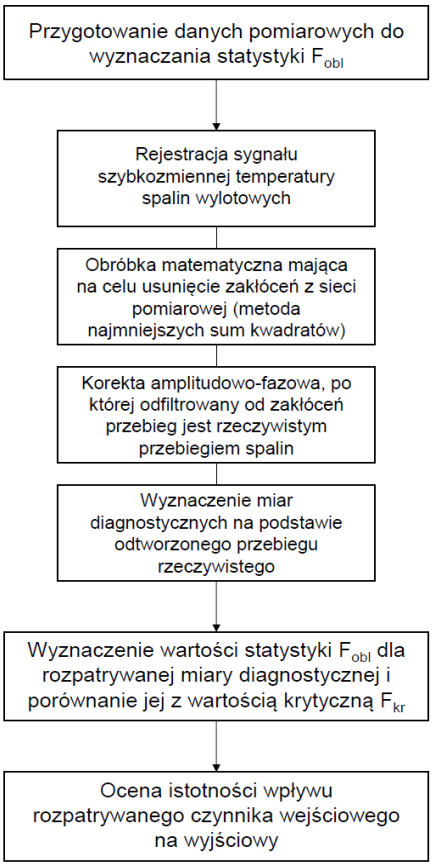
Wyliczoną wartość testową statystyki F_{obl} porównuje się następnie z jej wartością krytyczną F_{kr} wyznaczoną z odpowiedniej tablicy statystycznej, dla przyjętego poziomu istotności α oraz dla wyznaczonych liczb stopni swobody obliczonych dla licznika i mianownika: f_1 i f_2. Jeżeli wyznaczona wartość F_{obl} jest większa lub równa wartości krytycznej F_{kr}, to wpływ badanego czynnika należy uznać za istotny. W przeciwnym przypadku uznaje się, że w badanym zakresie zmienności oraz przy przyjętym poziomie istotności badany czynnika wejściowy nie wykazuje istotnego wpływu na czynnik wyjściowy.

3. Wpływ parametrów wejściowych pracy silnika o ZS na wybrane miary

Chcąc uzyskać wartość statystyki F, a co za tym idzie odpowiedź na kluczowe pytanie dotyczące istotności wpływy wybranych czynników wejściowych pracy silnika na zdefiniowane miary diagnostyczne należało postępować zgodnie z opracowanym schematem realizacji badań - rys. 2.

[1] W dalszej części artykułu jest ona nazywana również krócej „statystyką F".

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 2. Etapy wyznaczania statystyki F rozkładu Fishera-Snedecora dla potrzeb diagnostycznych

Głównym celem prowadzonych badań empirycznych jest ustalenie informacyjności diagnostycznej obserwowanego parametru kontrolnego, jakim jest szybkozmienna temperatura spalin wylotowych silnika o ZS. Należy zatem ustalić jej wrażliwość na zmiany parametrów jego struktury konstrukcyjnej. W pierwszym etapie badań dokonano oceny istotności wpływu obciążenia silnika na jedną z miar diagnostycznych uzyskanych z odtworzonego, rzeczywistego przebiegu szybkozmiennej temperatury spalin – jednostkową entalpię strumienia spalin w zakresie jednego cyklu pracy silnika. Eksperyment przeprowadzono zgodnie z planem przedstawionym w tab. 2. Zarówno obciążenie silnika, jak i natężenie oraz napięcie prądu na zaciskach prądnicy zmieniały się o 25% wartości nominalnej.

Tab. 2. Plan badań eksperymentalnych silnika mających na celu określenie istotności wpływu jego obciążenia P_{obc} na jednostkową entalpię strumienia spalin wylotowych w zakresie jednego cyklu roboczego h_{spal}

Parametr / Punkt	Punkty charakterystyki regulatorowej wg realizowanego planu				
	P_{obc} [W]	I [A]	U [V]	n [min^{-1}]	Liczba powtórzeń
P_{obc1}	432	5,1	72	1444	6
P_{obc2}	768	6,8	96	1444	6
P_{obc3}	1200	8,5	120	1444	6

W stanach pracy ustalonej silnika o ZS rozróżnia się trzy charakterystyki jego pracy (rys. 3). Pierwsza to charakterystyka śrubowa, odzwierciedlająca pracę silnika głównego statku napędzającego śrubę o stałym skoku. Obciążanie silnika realizowane jest według tzw.

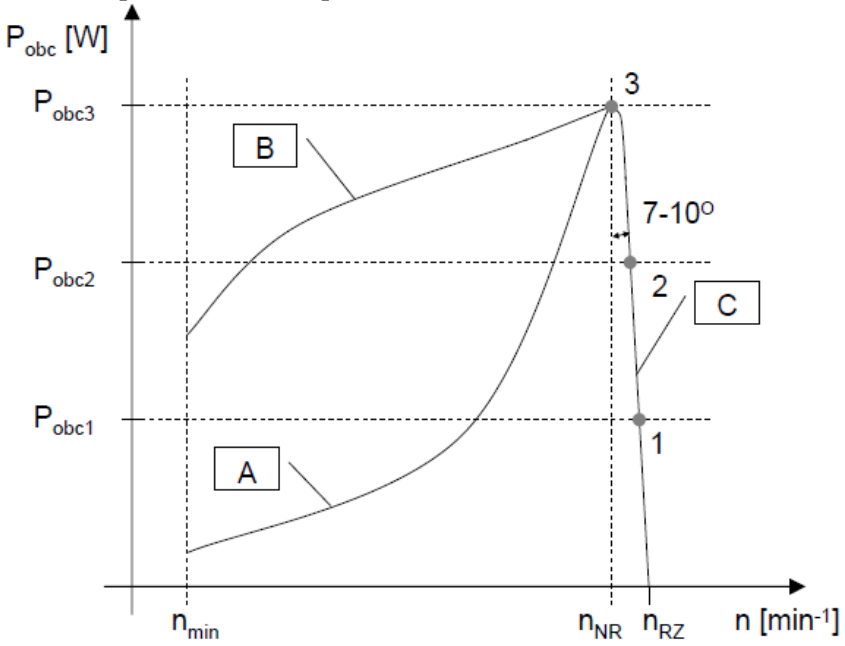
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

charakterystyki prędkościowej śrubowej, gdzie zależność mocy zapotrzebowanej silnika i prędkości obrotowej jest reprezentowana parabolą trzeciego stopnia:

$$P_{obc} = P_{nom} \cdot \left(\frac{n}{n_{nom}} \right)^3 \tag{3}$$

Kolejna, to charakterystyka prądnicowa – reprezentująca pracę silnika głównego statku napędzającego śrubę o skoku nastawnym lub dla pracy silnika pomocniczego napędzającego prądnicę w zespole prądotwórczym elektrowni okrętowej. Wówczas obciążanie silnika odbywa się według charakterystyki regulatorowej, dla zwiększania dawki paliwa na cykl pracy silnika, przy ustalonej wartości prędkości obrotowej wału korbowego.

Wyróżnia się także charakterystykę prędkościową – typową dla pracy silnika głównego napędzającego śrubę o skoku ustalonym, gdy nie posiada on regulatora prędkości obrotowej. Obciążanie silnika realizowane jest według tzw. charakterystyki prędkościowej zewnętrznej. Utrzymywana jest stała dawka paliwa na cykl pracy silnika, natomiast zakres zmian prędkości obrotowej wynika z samoregulacji prędkości obrotowej silnika podczas pływania statku na fali [Balcerski 1990].



Rys. 3. Charakterystyki zmienności obciążenia silnika okrętowego jako funkcji prędkości obrotowej wału korbowego: A - charakterystyka prędkościowa śrubowa (zmienna dawka paliwa na cykl pracy silnika; B - charakterystyka prędkościowa zewnętrzna (stała dawka paliwa na cykl pracy silnika), C - charakterystyka regulatorowa (zmienna dawka paliwa na cykl pracy silnika), n_{NR} – nastawa regulatora prędkości obrotowej, n_{RZ} – rzeczywista prędkość obrotowa.

Badania eksperymentalne realizowane były na stanowisku laboratoryjnym jednocylindrowego silnika Farymann Diesel typu D10, który napędza obcowzbudną prądnicę prądu stałego typu PKM0a44a/143 przez przekładnię pasową. Nominalne wartości podstawowych parametrów silnika napędowego wynoszą: P_{nom}=5,9 kW, M_{nom}=38 N·m przy n_{nom}=1500 min^{-1}. Ze względu na ograniczone możliwości układu regulacji obciążenia i sterowania dawką paliwa zasilającego pomiary obserwowanych parametrów przeprowadzono dla 3 punktów pracy według charakterystyki regulatorowej (tabela 2). Do rejestracji pomiarów szybkozmiennych temperatur i ciśnień spalin wylotowych, a także sygnału górnego martwego położenia tłoka użyto wielofunkcyjnego modułu pomiarowo-rejestrującego typu DT–9805 firmy Data Translation, natomiast do zapisu i obróbki matematycznej rejestrowanych wartości temperatury szybkozmiennej spalin wylotowych zastosowano oprogramowanie Matlab oraz Microsoft Excel.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W trakcie realizacji badań utrzymywana była stała prędkość obrotowa wału korbowego silnika 1444 min^{-1}. Do jego zasilania zastosowano paliwo żeglugowe MGO. Częstotliwość próbkowania wynosiła 7017,54 Hz. Do pomiaru szybkozmiennej temperatury spaln zastosowano termoparę typu K, ze spoiną zgrzewaną do płaszcza o średnicy zewnętrznej 0,5 mm, wykonanego z Inconellu, chłodzonej dodatkowo płaszczem wodnym [Rudnicki, Puzdrowska i Marszałkowski 2017]. Stała czasowa zastosowanej termopary została wyznaczona zgodnie z algorytmem przedstawionym w publikacji [Puzdrowska 2018] i wynosi ona $6{,}49 \cdot 10^{-3}$ s.

Wartość średniego ciepła właściwego została wyznaczona na podstawie znajomości podstawowego składu chemicznego spalanego podczas badania paliwa żeglugowego MGO (C=0,8626, H=0,111), a także dzięki pomiarowi w czasie badania laboratoryjnego współczynnika nadmiaru powietrza λ oraz danych tablicowych takich, jak ciepła właściwe powietrza i składników spalin stechiometrycznych. Wszystkie wartości ciepeł właściwych zależne są od średniej temperatury spalin wylotowych w czasie badania laboratoryjnego.

W tabeli 3 przedstawiono wartości zdefiniowanego czynnika wyjściowego, jakim jest jednostkowa entalpia strumienia spalin wylotowych w obrębie jednego cyklu pracy silnika, dla trzech stanów ustalonego obciążenia silnika, wymuszanego zadawanymi wartościami napięcia i natężenia prądu twornika prądnicy. Punkty P_1, P_2 i P_3 określone tymi parametrami wynikają z przyjętej charakterystyki regulatorowej pracy silnika – rys. 3.

W celu wyznaczenia wartości statystyki F_{obl} postawiono następującą hipotezę zerową H_0:

H_0: obciążenie silnika (wynikające z napięcia i natężenia prądu twornika prądnicy) nie ma wpływu na wartość jednostkowej entalpii strumienia spalin uśrednioną w obrębie jednego cyklu pracy silnika ($S_{II}^2 = S_I^2$).

Na podstawie danych liczbowych zestawionych w tabeli 3 oraz przyjętego poziomu istotności α=0,05 oraz założenia prawostronnego obszaru krytycznego wyznaczono kolejno: wartości jednostkowej entalpii strumienia spalin w obrębie jednego cyklu pracy silnika, dla każdego punktu pomiarowego (P_i), liczbę stopni swobody dla licznika i mianownika (f_1=2 oraz f_2=15). Następnie z tablic statystycznych [Korzyński 2017] odczytano wartość krytyczną statystyki $F_{kr}=F_{(0,05;\ 2;\ 15)}$=3,6823 oraz wyznaczono wartość F_{obl}, która wyniosła 390. Ponieważ spełniony jest warunek: $F>F_{kr}$, więc należy odrzucić hipotezę zerową i przyjąć w dalszych badaniach diagnostycznych, że w rozpatrywanym zakresie zmienności obciążenia silnika ma ono istotny wpływ na jednostkową entalpię strumienia spalin w obrębie jednego cyklu pracy silnika o ZS.

Tab. 3. Wartości jednostkowej entalpii strumienia spalin $h_{spalśr}$ w obrębie jednego cyklu pracy silnika o ZS dla zmiennych wartości obciążenia silnika P_{obc} wymuszanego nastawami napięcia i natężenia prądu twornika prądnicy

Punkt pracy	Numer doświadczenia						
	1	2	3	4	5	6	h_i
P_1	12,7613	12,8348	12,8524	12,7911	12,8440	12,7197	12,8005
P_2	14,6079	14,3490	14,1249	14,0758	13,9470	13,8015	14,1510
P_3	16,4048	16,3502	16,1594	16,1719	15,8803	15,9374	16,1507

4. Strumień entalpii spalin wylotowych silnika

W celu uzyskania dodatkowych informacji diagnostycznych przydatne jest sporządzenie bilansu energii w silniku w postaci wykresu strumieniowego Sankey'a

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[Korczewski 2019]. Jednym z jego pasm strumieniowych jest strumień entalpii spalin wylotowych silnika $\dot{H}_{spal}$:

$$\dot{H}_{spal} = \dot{m}_{spal} \cdot c_{pspal}(T_{spal}) \cdot T_{spal} \tag{4}$$

W dotychczas prowadzonych rozważaniach przedstawiano wyniki obliczeń jednostkowej entalpii strumienia spalin $h_{spalśr}$ uśrednionej w obrębie jednego cyklu pracy silnika o ZS [Puzdrowska 2019]. Chcąc obliczyć strumień entalpii całkowitej $\dot{H}_{spal}$ konieczna jest znajomość wartości strumienia masy spalin wylotowych $\dot{m}_{spal}$ (oprócz znanej wartości uśrednionej temperatury T_{spal} oraz ciepła właściwego spalin, zależnego od T_{spal}). Można ją określić dwoma sposobami:

- na podstawie pomiarów ciśnienia spalin w dwóch przekrojach kontrolnych kanału spalin wylotowych silnika (na tej podstawie wyznacza się prędkość rozchodzenia się fali ciśnienia spalin powstającej po otwarciu zaworu wylotowego [Korczewski 2017]),
- na podstawie pomiarów współczynnika nadmiaru powietrza λ i sekundowego zużycia spalanego paliwa m_{pal}/τ przy znajomości jego składu chemicznego.

Stosując tę drugą metodę można wyznaczyć strumień masy spalin wylotowych (rzeczywistych), traktowanych jako roztwór spalin stechiometrycznych w suchym powietrzu, z następującej zależności:

$$\dot{m}_{spal} = \dot{m}_{pal} \cdot (1 + \lambda \cdot L_0) \tag{4}$$

gdzie:

$$L_0 = \frac{1}{0{,}232} \cdot (\frac{8}{3}C + 8H + S - \frac{8}{7}N - O) \tag{5}$$

jest teoretycznym (minimalnym) zapotrzebowaniem powietrza do spalenia 1kg paliwa (stałe C, H, S, N i O oznaczają udziały masowe, odpowiednio: węgla, wodoru, siarki, azotu i tlenu w paliwie zasilającym badany silnik o ZS[2]).

Dla przeprowadzonego badania w punktach $P_{obc1} \div P_{obc3}$ (zgodnie z danymi w tab. 2) oraz spalanego paliwa żeglugowego MGO, uzyskano wartość L_0=13,74 [kg powietrza/kg paliwa] oraz odpowiednie wartości strumienia entalpii spalin: $\dot{H}_{spal1}$=1,91 kJ/s, $\dot{H}_{spal2}$=2,1 kJ/s oraz $\dot{H}_{spal3}$=2,64 kJ/s. Wyznaczone w ten sposób parametry diagnostyczne będą stanowić istotne uzupełnienia metodyki oceny stanu technicznego silnika o ZS prowadzonej na podstawie rejestracji i analizy sygnału szybkozmiennej temperatury spalin wylotowych.

5. Uwagi i wnioski końcowe

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń można zauważyć, że obciążenie silnika ma istotny wpływ na jednostkową entalpię strumienia spalin w obrębie jednego cyklu pracy silnika o ZS. Jednak aby uznać przyjętą metodę oceny istotności wpływu czynników wejściowych na wyjściowe z zastosowaniem statystyki F rozkładu Fishera-Snedecora za przydatną należy rozszerzyć program badań eksperymentalnych. Konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań, mających na celu określenie wpływu (siły oddziaływania)

[2] Wartość teoretyczną zapotrzebowania powietrza do spalenia 1kg paliwa zasilającego wyznaczono, podobnie jak w przypadku obliczeń entalpii jednostkowej strumienia spalin wylotowych silnika, na podstawie znajomości przybliżonego składu chemicznego, określonego udziałami masowymi węgla C i wodoru H.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

parametrów wejściowych na inne miary diagnostyczne, jakimi są średnia wartość międzyszczytową, a także szybkość (intensywność) wzrostu oraz spadku jej wartości dla pojedynczych cykli pracy, dla których nie przedstawiono wartości statystyki F. Jako kolejny etap wykorzystania tego narzędzia statystycznego planuje się określenie wpływu istotności zmian parametrów struktury silnika o ZS wraz z kanałami: dolotowym powietrza i wylotowym spalin na miary diagnostyczne wyznaczone na podstawie zarejestrowanego i odpowiednio obrobionego matematycznie sygnału szybkozmiennej temperatury spalin. Dodatkowo planuje się sporządzenie bilansu energii w silniku z zastosowaniem wykresów strumieniowych Sankey'a. Ma to także cel utylitarny, jakim jest opracowanie metodyki diagnozowania silników o ZS, na pomiarów i analizy temperatury spalin wylotowych.

6. Literatura

[1] Balcerski, A. (1990) Siłownie okrętowe: podstawy termodynamiki, silniki i napędy główne, urządzenia pomocnicze, instalacje. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk.

[2] Jaremkiewicz, M. (2011) Odwrotne zagadnienia wymiany ciepła, występujące w pomiarach nieustalonej temperatury płynów. Rozprawa doktorska. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.

[3] Korczewski, Z. (2019) Thermal efficiency investigations on the self-ignition test engine fed with marine low sulfur diesel fuels. Combustion Engines, 178 (3), str. 15-19.

[4] Korczewski, Z., (2017) Diagnostyka eksploatacyjna okrętowych silników spalinowych – tłokowych i turbinowych. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk.

[5] Korczewski, Z., Puzdrowska, P. (2015) Analytical method of determining dynamic properties of thermocouples used in measurements of quick – changing temperatures of exhaust gases in marine diesel engines. Combustion Engines, 162(3), p. 300-306.

[6] Korzyński M. (2017) Metodyka eksperymentu. Planowanie, realizacja i statystyczne opracowanie wyników eksperymentów technologicznych. Wydawnictwo WNT. Warszawa.

[7] Kudrewicz J. (1976) Analiza funkcjonalna dla automatyków i elektroników. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.

[8] Łutowicz M. (2006) Identyfikacja procesu sprężania okrętowego tłokowego silnika spalinowego dla potrzeb diagnostyki jego przestrzeni roboczych, Rozprawa Doktorska, AMW, Gdynia.

[9] Olczyk, A.(2007) Koncepcja pomiaru szybkozmiennej temperatury gazu z uwzględnieniem dynamicznej składowej temperatury. Pomiary Automatyka Kontrola, 53 Bis/9, 576-579.

[10] Pabis S. (1985) Metodologia i metody nauk empirycznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.

[11] Puzdrowska P. (2018) Metoda wyznaczania stałej czasowej termopary na podstawie pomiaru szybkozmiennej temperatury spalin wylotowych silnika o ZS. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Vol. 108, s. 115-133.

[12] Puzdrowska, P. (2018) Signal filtering method of the fast-varying diesel exhaust gas temperature// Combustion Engines, nr. 175(4), s.48-52.

[13] Puzdrowska, P. (2019) Identification on damages in the inlet air duct of a diesel engine based on exhaust gas temperature measurements/ Combustion Engines, nr. 177(2), s.108-112.

[14] Rudnicki J., Puzdrowska P., Marszałkowski K. (2017) Osłona termopary chłodzona wodą jako narzędzie zapobiegające zakłóceniom zewnętrznym podczas pomiarów

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

temperatur szybkozmiennych spalin w kanale wylotowym silnika okrętowego, Journal of Polish CIMAC. -Vol. 12., nr. 1, p. 97-104.
[15] Shannon C. E. (1945)A mathematical theory of cryptography. A classified memorandum for Bell Telephone Labs. USA.
[16] Wojtatowicz T. W. (1998) Metody analizy danych doświadczalnych. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź.
[17] Zacharewicz M. (2009) Metoda diagnozowania przestrzeni roboczych silnika okrętowego na podstawie parametrów gazodynamicznych w kanale zasilającym turbosprężarkę, Rozprawa doktorska, AMW, Gdynia.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl