

Jarosław KOBRYŃ, Krystian WILK

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA LICZB PODOBIEŃSTWA OPISUJĄCYCH GAZOWE PŁOMIENIE DYFUZYJNE DO OCENY ZJAWISK ZACHODZĄCYCH W SILNIKU ZI

Streszczenie. W pracy zaproponowano sposób analizy zjawisk zachodzących w silniku ZI wykorzystując sprawdzone w praktyce liczby kryterialne podobieństwa zastosowane w ocenie gazowych płomieni dyfuzyjnych palników przemysłowych.

ANALYSIS OF A POSSIBILITY TO APPLY SIMILARITY NUMBERS DESCRIBING DIFFUSION GAS FLAMES TO ESTIMATE PHENOMENA TAKING PLACE IN SPARK IGNITION ENGINE

Summary. The paper proposes a way of analysing phenomena that take place in spark ignition engine, making use of the checked in practice similarity numbers applied in estimation of gas flames in diffusion gas burners.

Oznaczenia

A – chwilowe pole poprzecznego przekroju swobodnego przepływu przez szczelinę zaworu dolotowego [m^2],

A_{sr} – średnie pole poprzecznego przekroju swobodnego przepływu przez szczelinę zaworu dolotowego [m^2],

D – średnica komory spalania, średnica cylindra [m],

d_a, d_c – średnice gniazda zaworu dolotowego [m],

d_o – zastępcza średnica [m],

H – wznios zaworu [m],

i_a – entalpia właściwa powietrza [J/kg],

i_g – entalpia właściwa paliwa [J/kg],

i_o – pełna (chemiczna i fizyczna) entalpia właściwa [J/kg],

$KI, K2$ – liczby kryterialne podobieństwa [-],

L – długość komory spalania, skok tłoka [m],

m – stosunek mas strumieni [-],

$\dot{m}_a$ – masa strumienia powietrza [kg/s],

$\dot{m}_g$ – masa strumienia paliwa [kg/s],

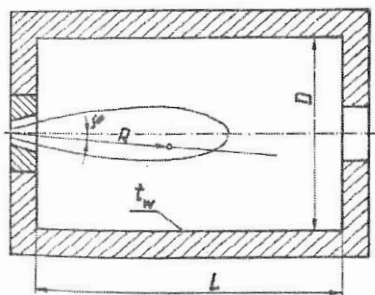
n – prędkość obrotowa [s^{-1}],

T_a – temperatura powietrza [K],

T_g – temperatura paliwa [K],
 T_{sr} – średnia temperatura spalania [K],
 $\dot{V}_a$ – strumień objętości powietrza [m^3/s],
 $\dot{V}_g$ – strumień objętości paliwa [m^3/s],
 V_s – objętość skokowa silnika [m^3],
 w – stosunek prędkości [-],
 w_a – prędkość wypływu powietrza [m/s],
 w_{os} – średnia prędkość przepływu powietrza przepływającego przez zawór dolotowy [m/s],
 w_g – prędkość wypływu paliwa [m/s],
 w_o – prędkość wypływu [m/s],
 W_d – wartość opałowa [J/kg],
 α – kąt przyłgni zaworu [$^\circ$],
 η_{efo} – efektywny współczynnik lepkości [$\text{kg}/(\text{ms})$],
 η_{dyn} – dynamiczny współczynnik lepkości [$\text{kg}/(\text{ms})$],
 ρ_o – gęstość [kg/m^3],
 ρ_m – gęstość mieszanki [kg/m^3],
 τ_{or} – czas otwarcia zaworu ssącego wg wałka rozrządu [$^\circ\text{OWR}$].

1. WPROWADZENIE

Badania prowadzone nad gazowymi płomieniami dyfuzyjnymi gazowych palników przemysłowych pozwoliły wyznaczyć szereg liczb kryterialnych podobieństwa. Liczby te pomogły opracować formuły badanego zagadnienia. Zaproponowane w pracy [1] dwie liczby kryterialne najlepiej opisujące warunki brzegowe postanowiono zastosować w analizie wyników badań silnika spalinowego. Komory spalania palników przemysłowych wykazują podobieństwo do komory spalania silnika spalinowego (rys. 1).



Rys. 1. Schemat komory spalania palników przemysłowych
 Fig. 1. The scheme of a combustion chamber in a diffusion flame burner

2. LICZBY KRYTERIALNE PODOBIEŃSTWA [1]

Liczby kryterialne podobieństwa są bezwymiarowymi kombinacjami wielkości fizycznych opisujących zjawisko. Analizowane w pracy liczby kryterialne podobieństwa oznaczono jako $K1$ i $K2$.

Liczba K_1 jest tzw. efektywną liczbą Reynoldsa. Zawiera ona informacje o wymiarach komory spalania, o rodzaju paliwa oraz o wielkości pól przekrojów wylotowych, czyli o najistotniejszych cechach konstrukcyjnych komory spalania.

$$K_1 = \frac{\rho_o w_o d_o}{\eta_{efo}} \quad (1)$$

Liczba K_2 charakteryzuje stosunek energii kinetycznej do pełnej entalpii strugi. Zawiera dane o wartości opałowej paliwa, o stopniu podgrzania i prędkościach wypływu substratów.

$$K_2 = \frac{w_o^2}{i_o} \quad (2)$$

3. PARAMETRY STRUGI ZASTĘPCZEJ

Teoria podobieństwa wskazuje, że w celu uzyskania zmian wartości liczb kryterialnych można zmieniać wartości dowolnych wartości tworzących te liczby i nie powinno to mieć wpływu na końcowy wynik.

Analizując zagadnienie doprowadzenia substratów do komory spalania dogodnie jest wprowadzić do rozważań strugę zastępczą. Parametry tej strugi oblicza się wg następujących wzorów:

- gęstość ρ_o

$$\rho_o = \frac{\dot{m}_g + \dot{m}_a}{\dot{V}_g + \dot{V}_a} \quad (3)$$

W palnikach przemysłowych [1] dla których wykorzystywano ten wzór paliwo i powietrze były osobno dostarczane do komory spalania, wykazując podobieństwo zasilania silnika ZS. Analizując dopływ mieszanki w silniku ZI można przyjąć z nieznacznym błędem, że parametry ładunku dostarczanego do silnika związane z jego gęstością zostają zachowane w momencie dolnego położenia tłoka, przed rozpoczęciem sprężania ładunku. W pracy zaproponowano inną postać strumienia objętości:

$$\rho_o = \frac{\dot{m}_g + \dot{m}_a}{n \dot{V}_s} \quad (4)$$

- prędkość wypływu w_o

$$w_o = \frac{\dot{m}_g w_g + \dot{m}_a w_a}{\dot{m}_g + \dot{m}_a} \quad (5)$$

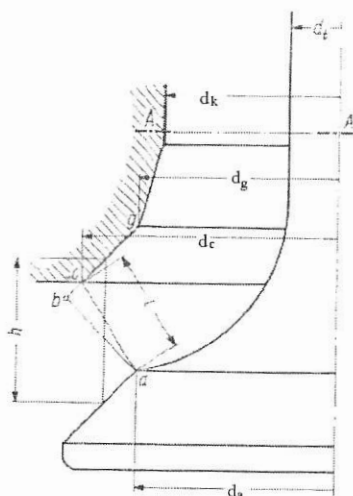
Analogicznie do analizy wzoru na gęstość (3) prędkość wypływu mieszanki w silniku ZI należy zbadać w miejscu najbardziej charakterystycznym, czyli szczelinie zaworu. W pracy zaproponowano:

$$w_{os} = \frac{\dot{m}_a + \dot{m}_g}{A_{sr} \rho_m} \quad (6)$$

gdzie:

$$A_{sr} = \frac{1}{\tau_{or}} \int_0^{\tau_{or}} A(\tau) d\tau \quad (7)$$

Swobodne pole przepływu pomiędzy gniazdem a grzybkiem zaworu (rys.2) obliczono z zależności [2]:



Rys. 2. Swobodne pole przepływu między gniazdem a grzybkiem zaworu
Fig. 2. Free float area at valve opening

dla skoku zaworu H mniejszego od wysokości przylgni zaworu:

$$A_a = \pi H \sin \alpha \left(d_a + H \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \quad (8)$$

jeżeli H przekroczy tę wielkość stosujemy wzór:

$$A_a = \frac{\pi(d_a + d_c)}{2} \sqrt{\left(H - \frac{d_c - d_a}{2 \tan \alpha} \right)^2 + \left(\frac{d_c - d_a}{2} \right)^2} \quad (9)$$

- zastępcza średnica d_o

$$d_o = 2 \sqrt{\frac{\dot{m}_g + \dot{m}_a}{\pi \rho_o w_o}} \quad (10)$$

Do dalszej analizy postanowiono zastosować wzór bez zmian.

- pełna (chemiczna i fizyczna) entalpia właściwa i_o

$$i_o = \frac{\dot{m}_g (W_d + i_g) + \dot{m}_a i_a}{\dot{m}_g + \dot{m}_a} \quad (11)$$

przy założeniu, że substraty z równania (11) są zimne (nie podgrzane), pełna entalpia właściwa przyjmuje postać:

$$i_o = \frac{W_d}{1 + m} \quad (12)$$

gdzie:

$$m = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_g} \quad (13)$$

Do dalszej analizy postanowiono zastosować wzór na pełną entalpię właściwą (12) bez zmian.

- efektywny współczynnik lepkości η_{efo}

$$\eta_{efo} = 0,012 D^{\frac{2}{3}} L^{\frac{1}{3}} \rho_a^{\frac{2}{3}} \left(\dot{m}_g w_g^2 + \dot{m}_a w_a^2 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

Przyjmując ponownie założenie zastosowane do analizy wzoru na gęstość, średnicę komory spalania (palnika przemysłowego) zastąpiono średnicą cylindra i analogicznie długość komory spalania (palnika przemysłowego) zastąpiono skokiem tłoka.

4. ANALIZA PODOBIENSTWA PARAMETRÓW

Podobieństwo wykazują:

- kształt komory spalania, a więc i jej charakterystyczne wymiary D i L ,
- parametry paliwa,
- parametry związane z przepływem.

Tablica 1

Parametry liczb kryterialnych [1, 2]

Parametr	Palnik przemysłowy	Silnik spalinowy
D	średnica komory spalania	średnica cylindra
L	długość komory spalania	skok tłoka
$\dot{m}_a$	masa strumienia powietrza	czasowe masowe zużycie powietrza
$\dot{m}_g$	masa strumienia paliwa	czasowe masowe zużycie paliwa
w	prędkość wypływu powietrza	średnia prędkość wypływu mieszanki przez zawór (zawory) dolotowe
W_d	wartość opałowa	wartość opałowa mieszanki

5. PODSUMOWANIE

- Liczby kryterialne podobieństwa wykorzystywane do oceny gazowych płomieni dyfuzyjnych palników przemysłowych mogą być zastosowane do oceny zjawisk zachodzących w silnikach spalinowych.
- Przypuszcza się, że analiza tych liczb pozwoli na wnioskowanie o wielkości parametrów innego silnika spalinowego bez konieczności przeprowadzania kosztownych badań na hamowni silnikowej.
- W celu pełniejszego zobrazowania liczb K_1 i K_2 należałoby przeprowadzić badania i analizę dla różnych warunków brzegowych charakteryzujących pracę silnika spalinowego.

Literatura

1. Wilk K.: Badania dyfuzyjnych palników gazowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Energetyka Zeszyt 785, Gliwice 1984.
2. Jędrzejowski J.: Obliczanie tłokowego silnika spalinowego. WNT, Warszawa 1969.

3. Szargut J.: Termodynamika techniczna. PWN, Warszawa 1991.
4. Kowalewicz A.: Systemy spalania szybkoobrotowych tłokowych silników spalinowych. WkiŁ, Warszawa 1980.
5. Wiśniewski S.: Obciążenia cieplne silników tłokowych. WkiŁ, Warszawa 1972.
6. Wiśniewski S.: Podstawy termodynamiki silników spalinowych. WNT, Warszawa 1963.
7. Kobryń J., Wilk K.: Analiza możliwości zastosowania liczb podobieństwa opisujących gazowe płomienie dyfuzyjne do oceny zjawisk zachodzących w silniku ZS. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport Zeszyty. 57, Gliwice 2005.
8. Selamet E., Selamet A., Novak J.: Predicting chemical species in spark – ignition engines. Energy 29, 2004.
9. Chan S., Zhu J.: Modelling of engine in – cylinder thermodynamic under high values of ignition retard. Int. J. Therm. Sci. 40, 2001.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. S. Postrzednik

Artykuł stanowi sprawozdanie z BW-424/RT1/2005