<u>1996</u> Nr kol. 1310

Piotr GUSTOF Zbigniew STANIK Krystian WILK

WYKORZYSTANIE MODELU DWUSTREFOWEGO DO ANALIZY PROCESU SPALANIA W SILNIKU ZS

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki próby wykorzystania modelu dwustrefowego do analizy procesu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym zasilanym olejem napędowym. Na podstawie danego wykresu indykatorowego silnika obliczono przebieg wartości temperatury strefy niespalonej i strefy spalin, składu spalin składających się z 10 składników w stanie równowagi oraz stopnia wypalenia ładunku w funkcji kąta obrotu wału korbowego (OWK). Określono też wartość stosunku nadmiaru powietrza w ładunku.

THE UTILIZATION OF THE TWO-ZONE MODEL TO ANALIZE THE COMBUSTION PROCESS IN DIESEL ENGINE

Summary. In this work have been presented the results of the test of utilizing the twozone model to analize combustion process in the Diesel engine fed with petroleum. On the base of indicator diagram of engine we calculated values of temperature of non - combustion and combustion zone, combustion gases containing of ten components in the equilibrium chemical composition and coefficient of used mixture in function of the crankshaft angle. We defined also the value of air acces ratio in the the mixture.

1. Dwustrefowy model procesu spalania ładunku w silniku

W silniku ZS, po wtrysku paliwa do zassanego i sprężonego powietrza, ładunek nie stanowi jednorodnej mieszanki. Ta niejednorodność ładunku stanowi istotną różnicę w porównaniu z ładunkiem silnika ZI. Uwzględnienie niejednorodności przestrzennej ładunku w silniku ZS stwarza poważne problemy w modelowaniu matematycznym procesu spalania. W pierwszym przybliżeniu podjęto próbę wykorzystania modelu dwustrefowego do analizy procesu spalania ładunku w silniku ZS, co wymaga przyjęcia założenia o jednorodności tego ładunku.

Model dwustrefowy, wykorzystany do analizy procesu spalania w silniku ZS, składa się z równań bilansów energii stref dla elementarnego kąta OWK i równań pomocniczych :

- równanie bilansu energii strefy niespalonej,
- równanie bilansu energii frontu spalania,
- równanie bilansu energii strefy spalin,
- termiczne równania stanu strefy niespalonej i strefy spalin,
- równania sumy objętości stref i ilości substancji w strefach,
- równania określającego stopień wypalenia ładunku.

Szczegółowy zapis wymienionych równań przedstawiono wcześniej w pracy [1].

Wartości temperatur strefy niespalonej T_{uo} i strefy spalin T_{bo} na początku obliczeń procesu spalania należy oszacować. Jako kryterium poprawności szacunku przyjęto warunek, aby :

$$\sum_{n=1}^{n} dQ^2 / n \to \min, \qquad (1)$$

gdzie :

- dQ elementarna porcja ciepła przypadająca na elementarny kąt OWK przepływająca z frontu spalania do strefy niespalonej,
 - n ilość kroków obliczeniowych przy rozważaniu danego przypadku spalania,

$$dQ = dI_{u} - dI_{b}, \qquad (2)$$

gdzie :

 dI_u , dI_b - elementarne porcje pełnej (fizycznej i chemicznej) entalpii ładunku i spalin.

Kryterium (1) wykorzystano dalej do określenia najbardziej prawdopodobnej wartości stosunku nadmiaru powietrza w ładunku.

52

W obliczeniach przyjęto, że spaliny zawierają 10 gazowych składników CO_{21} , CO, H_2O , H_2 , O_2 , NO, N_2 , H, O i OH znajdujących się w stanie równowagi. W celu określenia wartości udziałów składników spalin należy w każdym kroku obliczeniowym rozwiązać układ 11 równań (4 równania bilansów pierwiastków C, H, O i N, równanie sumy udziałów oraz 6 równań określających wartości stałych równowagi reakcji) dla danego ciśnienia p i temperatury T_b strefy spalin [2].

Zależności stałych równowagi od temperatury opracowano na podstawie danych zawartych w pracy [3].

2. Obiekt analizy i dane do obliczeń

Przedmiotem analizy był silnik wysokoprężny RABA - MAN D 2156 HM6U o mocy nominalnej 142 kW, zasilany olejem napędowym. W rozważaniach wykorzystano wykres indykatorowy zdjęty przez Instytut Transportu w Budapeszcie przy prędkości obrotowej silnika 1000 min⁻¹. Fragment wykresu obejmującego okres spalania opracowano w postaci wielomianu w zakresie kąta od -20 do +30 ° OWK :

$$p = 5,24291 + 0,155967 \phi_{i} + 2,8494 10^{-3} \phi_{i}^{2} - 8,65124 10^{-4} \phi_{i}^{3} - 3,31025 10^{-5} \phi_{i}^{4} - + 2,31025 10^{-6} \phi_{i}^{5} + 8,99715 10^{-8} \phi_{i}^{6} + 6,96432 10^{-9} \phi_{i}^{7} - 1,80331 10^{-10} \phi_{i}^{8} - + 6,81073 10^{-12} \phi_{i}^{9} + 1,78869 10^{-13} \phi_{i}^{10}.$$
(3)

gdzie : p - ciśnienie w [MPa],

φ; - kąt obrotu wału korbowego.

Przyjęto również, że kąt obliczeniowy wynosi $\Delta \phi_i = 1^\circ$ OWK. Wartość opałowa paliwa (olej napędowy c=0,869; h=0,129; o=0,000; n=0,002) wynosi $W_d = 43890$ kJ/kg, co przy rozważanym zakresie wartości stosunku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,08 \div 1,28$ sprawia, że wartość opałowa mieszanki zmienia się w przedziale $W_{du} = 2611 \div 2223$ kJ/kg. Temperaturę ładunku w momencie rozpoczęcia spalania określono rozważając jego sprężanie dla $T_{uo} = 820$ K, temperaturę pierwszej porcji spalin określono analizując temperaturę kalorymetryczną paliwa $T_{bo} = 2380$ K. Przyjęto też, że stopień wypalenia pierwszej porcji ładunku wynosi $x_o = 0,00002$.

3. Wyniki obliczeń wykonanych do oceny wartości stosunku nadmiaru powietrza w ładunku

Do oceny rzeczywistej wartości stosunku nadmiaru powietrza λ w ładunku wykonano obliczenia wartości wielkości termodynamicznych charakteryzujących proces spalania w zależności od kąta OWK. Określono przy tym przebieg wartości temperatury T_u - strefy niespalonej, The strefy spalin, stopnia wypalenia ładunku x, ciepła odpływającego do ścianek komory spalania, ciepła dQ przekazywanego z frontu spalania do strefy niespalonej oraz udziałów składników spalin. Obliczenia wykonano dla 11 wartości stosunku λ nadmiaru powietrza w zakresie $\lambda = 1,08 \div 1,28$ co 0,02. W celu ilustracji uzyskanych wyników na rysunku 1 przedstawiono przebieg wartości temperatur T_u i T_b, na rysunku 2 przebieg wartości stopnia wypalenia x i stopnia wyzwolenia energii chemicznej paliwa y oraz na rysunkach 3 i 4 odpowiednio przebieg wartości udziałów tlenku węgla CO i tlenku azotu NO przy wartości stosunku nadmiaru powietrza $\lambda = 1.18$. Na kolejnych rysunkach przedstawiono obliczone zależności wartości wybranych wielkości od stosunku λ nadmiaru powietrza w ładunku. Rysunek 5 przedstawia zależność stopnia wypalenia x ładunku, rysunki 6 i 7 pokazują zależność obliczonych wartości udziałów CO i NO w spalinach, a na rysunku 8 przedstawiono przebieg wartości kryterium badawczego w funkcji stosunku nadmiaru powietrza λ w ładunku. Wartości wymienionych wielkości brano pod koniec obliczeniowego okresu spalania (dla kąta q i końcowe).

Na podstawie warunku (1) określono najbardziej prawdopodobną wartość λ .



Rys.1. Zależność temperatury T_u - strefy niespalonej i T_b - strefy spalin od kąta φ OWK Fig. 1. Dependence temperature T_u - non-combustion and T_b - combustion zone on the crankshaft angle



- Rys.2. Zależność stopnia wypalenia x ładunku i stopnia wyzwolenia energii chemicznej y od kąta φ OWK
- Fig. 2. Dependence coefficient of used mixture x and releasing chemical energy ratio y on the crankshaft angle



Rys.3. Zależność udziału molowego tlenku węgla CO w spalinach od kąta ϕ OWK Fig. 3. Dependence shares of the mole CO in the combustion gases on the crankshaft angle



Rys. 4. Zależność udziału molowego tlenku azotu NO w spalinach od kąta φ OWK
 Fig. 4. Dependence shares of the mole NO in the combustion gases on the crankshaft angle



- Rys.5. Zależność stopnia wypalenia ładunku x przy końcu intensywnego spalania od stosunku λ nadmiaru powietrza w ładunku
- Fig. 5. Dependence coefficient of used mixture x at the end of violent combustion process on air excess ratio λ in the mixture



Rys.6. Zależność udziału CO w spalinach od stosunku λ nadmiaru powietrza w ładunku
 Fig. 6. Dependence shares of the mole CO in the combustion gases on air excess ratio λ in the mixture



Rys.7. Zależność udziału NO w spalinach od stosunku λ nadmiaru powietrza w ładunku Fig. 7. Dependence shares of the mole NO in the combustion gases on air excess ratio λ in





Rys.8. Zależność wartości wielkości kryterialnej od stosunku nadmiaru powietrza w ładunku Fig. 8. Dependence criterional of value greatness on air excess ratio λ in the mixture

W tablicy 1 zestawiono wartości niektórych wielkości charakteryzujących proces spalania w zależności od stosunku nadmiaru powietrza λ . Zamieszczono tam maksymalne wartości temperatury $T_{u max}$ strefy niespalonej, T_{max} strefy spalin, stopnia wypalenia x przy końcu intensywnego spalania (kątp_{i końcowe}), wartości udziałów molowych CO i NO w spalinach oraz wartości kryterium $\Sigma dQ^2/n$ (1), które wykorzystano do określenia rzeczywistej wartości stosunku nadmiaru powietrza $\lambda = 1,18$ w ładunku.

Tablica 1

λ	1.08	1.1	1.12	1.14	1.16	1.18	1.2	1.22	1.24	1.26	1.28
$T_{u \max}[K]$	1200	1007	988	980	968	956	945	934	924	915	906
(Ψį)	(12)	(12)	(11)	(11)	(11)	(11)	(10)	(10)	(9)	(9)	(8)
T _{b max} [K]	2545	2547	2551	2553	2555	2557	2558	2559	2562	2562	2562
(¢ _i)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
x	0.58	0.59	0.6	0.61	0.63	0.64	0.65	0.67	0.65	0.64	0.64
CO	0,0023	0,0021	0,0019	0,0018	0,001 7	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0014	0,0013
NO	0,0045	0,0047	0,0052	0,0055	0,005 9	0,0062	0,0065	0,0067	0,0073	0,0079	0,0081
$\Sigma dQ^2/n$	140	96	60	32	14	8.8	17	43	65	110	159
φ _{i końcowe}	24	24	24	24	24	24	24	23	23	22	21

Wartości wybranych wielkości charakteryzujących proces spalania w zależności od stosunku λ nadmiaru powietrza w ładunku

4. Podsumowanie

W pracy wykazano, że wykres indykatorowy silnika oraz informacja o dawce paliwa mogą być podstawą do określenia wartości innych parametrów (np. stosuńku nadmiaru powietrza w ładunku) charakteryzujących przebieg procesu spalania w silniku ZS. Wydaje się też, że rozważanie spalin zawierających 10 gazowych składników w przypadku silnika ZS jest niezadowalające. Należy jeszcze uwzględnić obecność sadzy w spalinach. Zagadnienie to będzie tematem naszych dalszych prac.

Literatura

- Maćkowski J., Wilk K.: The Effect of the Mixture and Flame Front Initial Temperature on the Heat Amoung Flowing Between Zones in the Combustion Engine. W: 12-th International Symposium on Combustion Processes, Bielsko-Biała Sept., 1991.
- Maćkowski J., Wilk K.: Wpływ składu chemicznego spalin na wyniki obliczeń temperatury procesu spalania w silniku ZI. W: Konferencja "KONMOT '94", Kraków - Raba Niżna 1994.
- Gaydon A.G., Wolfhard H.G.: Flames, their Structure Radiation and Temperature, Chapman and Hall Ltd, London 1970.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Jaskólski

Wpłynęło do Redakcji 14.11.1995 r.

Abstract

In this work have been presented the results of the test of utilizing the two-zone model to analize combustion process in the Diesel engine fed with petroleum. On the base of indicator diagram of engine we calculated values of temperature of non-combustion and combustion zone, combustion gases containing of ten components in the equilibrium chemical composition and coefficient of used mixture in function of the crankshaft angle. We defined also the value of air acces ratio in the nilketurepresented model permits to determination the real air excess ratio in the mixture and the chemical part of toxic components at the end of combustion process in the Diesel engine.