

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"

POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

Beskid Śląski, 1990

Maciej Sobieszczkański, Stanisław Wojciech

Politechnika Łódzka

Filia w Bielsku-Białej

MODELOWANIE PROCESU WTRYSKU PALIWA W SILNIKACH WYSOKOPRĘŻNYCH

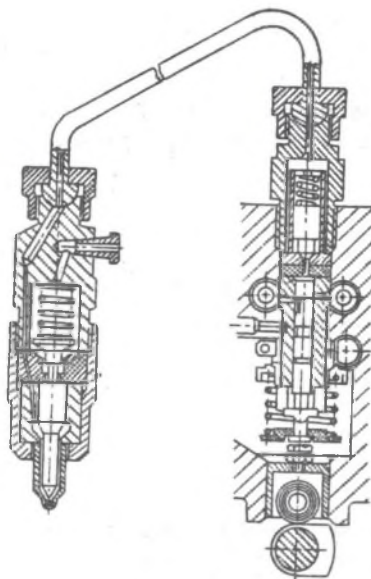
Streszczenie. W pracy przedstawiono zastosowanie metody prostych do rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych pojawiających się przy opisie matematycznym zjawisk występujących we wtryskiwaczach. Omówiono pakiet programów związanych z numeryczną symulacją procesu wtrysku paliwa.

1. Wstęp

Przy opracowywaniu nowych i modyfikacji istniejących silników dobór parametrów układów zasilania w paliwo ma podstawowe znaczenie.

W niniejszej pracy przedstawiono model matematyczny oraz omówiono programy umożliwiające dobór parametrów aparatury wtryskowej drogą symulacji numerycznej.

Analizowany układ przedstawiony na rys.1 składa się z rzędowej pompy, przewodu wtryskowego oraz wtryskiwacza.



W pracy [1] podano założenia równania różniczkowe opisujące proces wtrysku paliwa, które mogą być przedstawione w postaci:

I. Równania zespołu pompy:

$$\left[\begin{array}{l} \frac{v_p}{E_p} \frac{dp_p}{dt} = A_p \frac{dh_p}{dt} - A_{lc} \frac{dh_l}{dt} - \operatorname{sgn}(p_p - p_d) \mu_d A_d \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_p - p_d|} \\ \qquad \qquad \qquad - \operatorname{sgn}(p_p - p_l) \mu_l A_l \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_p - p_l|} \\ \frac{v_l}{E_l} \frac{dp_l}{dt} = A_{lc} \frac{dh_l}{dt} + \operatorname{sgn}(p_p - p_l) \mu_l A_l \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_p - p_l|} - A_L u_0 \\ m_l \frac{d^2 h_l}{dt^2} = A_{lc} (p_p - p_l) - k_l (h_l + h_{l0}) - f_l \frac{dh_l}{dt} \end{array} \right. \quad (1)$$

gdzie: $p_p(t)$ - ciśnienie w zespole pompy,
 $p_l(t)$ - ciśnienie w komorze zaworu tłoczącego,
 h_l - wznios zaworu;

pozostałe wielkości są stałymi lub zmiennymi współczynnikami.

II. Równania ruchu cieczy w przewodzie wtryskowym:

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial t} + a^2 \rho \frac{\partial u}{\partial x} = 0 & i = 1, 2, \dots, n \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\lambda u |u|}{2d_L} = 0 & i = 0, 1, \dots, n, n+1 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie: $u = u(x, t)$ - prędkość przepływu paliwa,
 $p = p(x, t)$ - ciśnienie paliwa w przewodzie,
 a, ρ, λ, d_L - zmienne współczynniki.

III. Równania zespołu wtryskiwacza:

$$\begin{cases} \frac{v_v}{E_v} \frac{dp_v}{dt} = A_L u_L - \operatorname{sgn}(p_v - p_n) \mu_v A_v \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_v - p_n|} \\ \quad - \frac{dv_n}{dt} - (A_L - A_n) \frac{dh_v}{dt} \\ \frac{v_n}{E_n} \frac{dp_n}{dt} = \operatorname{sgn}(p_v - p_n) \mu_v A_v \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_v - p_n|} - \frac{dv_g}{dt} \\ \quad - \epsilon_n \mu_n A_n \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_n - p_k|} \\ m \frac{d^2 h_v}{dt^2} = p_n A_n + p_v (A_L - A_n) - k_v (h_v - h_{v0}) - f_v \frac{dh_v}{dt} \end{cases} \quad (3)$$

gdzie: $p_v(t)$ - ciśnienie w komorze wtryskiwacza,
 $p_n(t)$ - ciśnienie w studziencie,
 $p_k(t)$ - wznios iglicy;

pozostałe wielkości są stałymi lub zmiennymi współczynnikami.

Równania (1) i (3) stanowią układ nieliniowych równań różniczkowych zwyczajnych, natomiast równania (2) są układem równań różniczkowych typu hiperbolicznego o zmiennych współczynnikach.

Układy te są powiązane warunkami:

$$\begin{cases} p(x, t)|_{x=0} = p_i(t), \\ p(x, t)|_{x=L} = p_v(t), \end{cases} \quad (4)$$

ponadto w równaniach grupy (1) i (3) występują wielkości $u_0 = u(x, t)|_{x=0}$ oraz $u_L = u(x, t)|_{x=L}$, gdzie L oznacza długość przewodu.

W prezentowanej pracy do sprawdzenia równań (1), (2), (3), do wygodnego w analizie numerycznej układu równań różniczkowych zwyczajnych, zastosowano metodę prostych [2].

2. Rozwiązanie zagadnienia

Zgodnie z ideą metody prostych pochodne cząstkowe względem x funkcji p i u przybliża się przez różnice skończone.

Jeśli $\{x_i\}_{i=0,1,\dots,n+1}$ jest ciągiem punktów przedziału $\langle 0, L \rangle$, to po wprowadzeniu oznaczeń:

$$\begin{cases} p_0(t) = p(0, t) & u_0(t) = u(0, t) \\ p_i(t) = p(x_i, t) & u_i(t) = u(x_i, t) \\ p_{n+1}(t) = p(L, t) & u_{n+1}(t) = u(L, t) \end{cases} \quad (5)$$

i przyjęciu, że równania (2) są spełnione, gdy są spełnione dla x_0, \dots, x_n , można je zapisać w postaci:

$$(6) \begin{cases} \dot{p}_i = -a_i \rho_i \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=x_i} & i = 1, 2, \dots, n, \\ \dot{u}_i = -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=x_i} - \frac{\lambda_i u_i |u_i|}{2d_L} & i = 0, 1, \dots, n, n+1. \end{cases} \quad (6)$$

Zastępując pochodne funkcji u i p względem x w punktach x_i przez różnice skończone [3], można równania (1), (2), (3) przedstawić jako układ $2n+10$ równań różniczkowych zwyczajnych pierwszego rzędu postaci:

$$\dot{X} = F(X, t), \quad (7)$$

gdzie: $X = [h_1, h_1, p_0, p_0, \dots, p_{n+1}, u_0, \dots, u_{n+1}, p_n, h_n, h_n]^T$
 F - wektor o elementach określonych w [3].

Do rozwiązania równań (7) przy zadanych warunkach początkowych zastosowano metodę Rungego-Kutty IV rzędu, wykorzystując specjalne postępowanie interpolacyjno-ekstrapolacyjne, pozwalające skrócić czas obliczeń poprzez stosowanie różnych kroków czasowych dla poszczególnych równań układu.

3. Obliczenia i uwagi końcowe

Aby umożliwić konstruktorom komputerową symulację procesu wtrysku paliwa opracowano pakiet programów w Turbo Pascalu w.5.0, w skład którego wchodzi:

- procedury interaktywnego wprowadzania danych do obliczeń, pozwalające na zakładanie i aktualizację bazy danych liczbowych opisujących podstawowe podzespoły takie, jak: pompa, krzywka, zawór, przewód, wtryskiwacz, paliwo.
 - Procedury te umożliwiają konfigurowanie danych do obliczeń głównych poprzez łączenie różnych wariantów wymignionych podzespołów;
 - programy rozwiązujące równania układu przedstawioną metodą prostych i Rungego-Kutty bądź metodą charakterystyk w połączeniu z metodą iteracyjną [1].
- Dane do obliczeń przygotowane są przez procedury omówione poprzednio, a wyniki obliczeń zapisane w zbiorach dyskowych, co umożliwia ich graficzną prezentację;
- programy graficznej prezentacji wyników obliczeń, umożliwiające porównanie wyników (jednego z parametrów zapisywanych do zbioru wyjściowego dla różnych wariantów danych liczbowych oraz prezentację kilku wielkości uzyskanych dla jednego zestawu danych na wspólnym wykresie).

Programy umożliwiają wykorzystanie IBM PC z kartą typu Hercules lub EGA.

Wyniki obliczeń testowych były porównywane z wynikami pomiarów doświadczalnych na stanowisku badawczym. Uzyskano dobrą zgodność wyników [1].

Pakiet pozwalający prowadzić numeryczną symulację procesu wtrysku paliwa jest wykorzystywany m.in. w Warszawskich Zakładach Mechanicznych, Państwowym Instytucie Motoryzacji i Wyższej Szkole Morskiej w Gdyni.

Podczas Sympozjonu chcielibyśmy zaprezentować możliwości i zastosowania pakietu.

LITERATURA

- [1] M. Sobieszczanski: Matematyczny model procesu w silniku o zapłonie samoczynnym, w aspekcie energetycznej metody pomiaru dawki wtrysku. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, 1989, nr 1.

- [2] J. Legras: Praktyczne metody analizy numerycznej. WNT, Warszawa 1974.
- [3] M. Sobieszczęński, S. Wojciech: Zastosowanie metody prostych do analizy procesu wtrysku paliwa, Mechanika Teoretyczna i Stosowana 1, 1989.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Резюме

В работе представляется применение метода в решении частных дифференциальных уравнений, которые появляются в процессе математического описания явления, происходящих в форсунках.

Обслуживается пакет программ, связанных с числовой симуляцией процесса впрыскивания топлива.

THE MODELLING OF FUEL INJECTION PROCESS IN COMPRESSION-IGNITION ENGINE

Summary

In this paper the application of the straight method to numerical solution of conjugate system of ordinary and hyperbolic - type differential equation has been presented. Also the computer program realising the numerical calculation is described.