

# ТРАНСПОРТНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

536.24+532.52

## РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОГО НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ НЕСЖИМАЕМОГО ГАЗА В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КАНАЛАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Канд. техн. наук, доц. Ю.Г. ВОЛОДИН, асп. О.П. МАРФИНА

*Представлена, основанная на параметрических методах расчета, математическая модель турбулентного пограничного слоя (ТПС) для транспортных магистралей тепло-энергетического оборудования:*

*To showed mathematical model the turbulent boundary layer (TBL) founding on the parameter methods calculation on the transport highways the heat-energy equipments.*

В основу математической модели, описывающей нестационарное неизотермическое течение несжимаемого газа в осесимметричных каналах с теплообменом, могут быть положены уравнения движения, неразрывности и энергии, записанные в следующей форме:

$$\rho \frac{\partial w_x}{\partial t} + \rho w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + \rho w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r\tau)}{\partial r}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho r}{\partial t} + \frac{\partial (\rho w_x r)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho w_r r)}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial h^*}{\partial t} + \rho w_x \frac{\partial h^*}{\partial x} + \rho w_r \frac{\partial h^*}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial (rq)}{\partial r} + \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (3)$$

$$h^* = h_i + \frac{w_x^2}{2}; h_i = \int_0^T C_p \partial T. \quad (4)$$

Система уравнений (1)—(4) совместно с заданными в форме (5) начальными и граничными условиями:

$$G = f(t),$$

$$T_0^* = f(t), \quad (5)$$

$$T_w = f(t, x),$$

$$\bar{r}_0 = \begin{cases} \bar{r}_0 = \text{const}, & \text{если } X \leq X_T \\ \bar{r}_0 = 1 - kX, & \text{если } X_T < X \leq X_K \end{cases}$$

и необходимыми замыкающими соотношениями (6)—(7) [1]

$$\sqrt{\frac{C_f}{2}} = \int_{\omega_1}^1 \sqrt{\rho/\rho_0} d\omega / \int_{\xi_1}^1 \sqrt{\tau/\tau_0} \frac{d\xi}{\xi}, \quad (6)$$

$$St = \sqrt{\frac{C_f}{2}} \int_{\vartheta_1}^1 \sqrt{\rho} d\vartheta / \int_{\xi_{1h}}^1 \frac{\bar{q}}{\bar{q}_0} \sqrt{\frac{\tau_0}{\tau}} \frac{d\xi_h}{\xi_h} \quad (7)$$

полностью описывает нестационарное неизотермическое течение несжимаемого газа в осесимметричных каналах цилиндрической ( $X_T$ ) и конфузorno-диффузорной ( $X_K$ ) формы.

В рассматриваемом случае имеют место следующие возмущающие течение факторы: продольный градиент давления, неизотермичность, тепловая нестационарность, гидродинамическая нестационарность.

В основу аналитического исследования положен параметрический метод, разработанный в трудах Кутателадзе С.С. и Леонтьева А.И. [2]. Суть его заключается в изучении влияния конкретного воздействия на процессы трения и теплоотдачи с последующим синтезом явлений: изучением их совместного воздействия и установлением корреляционных связей между ними.

Воспользуемся уравнениями (1) и (3) в виде, преобразованном к интегральным соотношения импульсов

$$\frac{1}{\rho_0 w_0^2} \frac{\partial \rho_0 w_0 \delta^*}{\partial t} + \frac{\partial \delta^{**}}{\partial x} + \delta^{**} \left[ (2+H) \frac{1}{w_0} \frac{\partial w_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial x} + \frac{1}{r_0} \frac{\partial r_0}{\partial x} \right] = \frac{C_f}{2} \quad (8)$$

и энергии

$$\frac{1}{\Delta h w_0} \frac{\partial \Delta h \delta_h^*}{\partial t} + \frac{\partial \delta_h^{**}}{\partial x} + \frac{\delta_h^{**}}{w_0} \frac{\partial w_0}{\partial x} + \frac{\delta_h^*}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial x} + \frac{\delta_h^{**}}{\Delta h} \frac{\partial \Delta h}{\partial x} + \frac{\delta_h^{**}}{r_0} \frac{\partial r_0}{\partial x} = St. \quad (9)$$

Уравнение движения является уравнением первого порядка в частных производных. Для численной реализации уравнения движения

$$D \frac{\partial W_0}{\partial t} + E \frac{\partial W_0}{\partial X} = \mathcal{J} \quad (10)$$

используем метод характеристик. Это позволяет при переходе к новым характеристическим координатам в квазилинейном приближении представить (10) в виде системы дифференциальных уравнений в полных производных

$$\begin{cases} \frac{dt}{D} = \frac{dX}{E}; & \frac{dt}{dX} = \frac{D}{E} \\ \frac{dX}{E} = \frac{dW_0}{\mathcal{J}}; & \frac{dW_0}{dX} = \frac{\mathcal{J}}{E} \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\mathcal{J} = Re_1 \frac{C_{f_0}}{2} \Psi_{\Sigma} W_0^2 \bar{r}_0 - \left( Re^{**} W_0 + Re^{**} H W_0 - \frac{Re_1}{4} W_0^2 2\bar{r}_0 \right) \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial X}; \quad (12)$$

$$E = \text{Re}^{**} \bar{r}_0 + W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0} + \text{Re}^{**} H \bar{r}_0 + \text{Re}^{**} W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial H}{\partial W_0} +$$

$$+ H W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0} - W_0 \bar{r}_0^2 \frac{\text{Re}^{**}}{4}; \quad (13)$$

$$\frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0} = \frac{L \text{Ж} - K B}{N B + H \bar{r}_0 \text{Ж}}; \quad (14)$$

$$L = \frac{\text{Re}_1}{4} \bar{r}_0^2 - \text{Re}^{**} \bar{r}_0 \frac{\partial H}{\partial W_0}; \quad (15)$$

$$K = \text{Re}^{**} \bar{r}_0 + \text{Re}^{**} H \bar{r}_0 + \text{Re}^{**} W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial H}{\partial W_0} - W_0 \bar{r}_0^2 \frac{\text{Re}_1}{4}; \quad (16)$$

$$N = W_0 \bar{r}_0 + H W_0 \bar{r}_0; \quad (17)$$

$$B = \left( \text{Re}^{**} H - \frac{\text{Re}_1}{2} W_0 \bar{r}_0 \right) \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial X} - \frac{\text{Re}_1}{4} \bar{r}_0^2 \frac{2 \bar{r}_0}{w_{01}} \frac{1}{\rho_{01}} \frac{\partial \rho_{01}}{\partial t} -$$

$$- \frac{\text{Re}^{**} H \bar{r}_0}{W_0} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{1 - \phi_h}{\phi_h} \right); \quad (18)$$

$$D = \text{Re}^{**} \bar{r}_0 \frac{2 r_{01}}{w_{01}} \frac{\partial H}{\partial W_0} + H \bar{r}_0 \frac{2 r_{01}}{w_{01}} \frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0}. \quad (19)$$

Уравнение неразрывности

$$\frac{4 H \text{Re}^{**} \bar{r}_0}{\text{Re}_1} = W_0 \bar{r}_0^2 - 1. \quad (20)$$

Уравнение энергии

$$\frac{\partial \text{Re}_h^{**}}{\partial X} = - \text{Re}_h^{**} \left[ \frac{1}{h_0^* - h_w} \frac{\partial}{\partial X} (h_0^* - h_w) + \frac{1}{\bar{r}_0} \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial X} \right] + \frac{\text{Re} S t_0 \Psi_{\Sigma_h}}{\bar{r}_0} +$$

$$+ \frac{1}{h_0^* - h_w} \frac{\partial}{\partial t} h_0^* \bar{\rho}_0 \bar{r}_0 \frac{\bar{r}_{01}}{2 w_{01}} \text{Re}_1,$$

где

$$\text{Re} = \bar{\rho}_0 \bar{r}_0 W_0 \text{Re}_1, \quad (22)$$

$$\text{Re}_1 = \frac{\rho_{01} w_{01} 2 r_{01}}{\mu_{01}}, \quad (23)$$

$$\bar{\rho}_0 = \frac{\rho_0}{\rho_{01}}; \quad W_0 = \frac{w_0}{w_{01}}; \quad \bar{r}_0 = \frac{r_0}{r_{01}}. \quad (24)$$

Заслуживает внимания временная производная в (22). Видно, что

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho r h^* = \frac{\partial}{\partial t} \rho_0 r_0 h_0^*, \quad (25)$$

т.е. комплекс величин  $prh$  изменяется во времени одинаково по всему сечению канала. Это довольно удобное свойство системы, так как существенно понижает сложность численной реализации уравнения (21), переводя его в класс обыкновенных дифференциальных уравнений, так как величина  $\rho_0 r_0 h_0^*$  определяется начальными условиями для случая течения в коротких каналах.

Таким образом, соотношения (10)—(21), замыкающиеся зависимостями (6) и (7) для коэффициентов трения и теплоотдачи с начальными и граничными условиями (5), позволяют рассчитать значения коэффициентов трения и теплоотдачи, интегральных и тепловых характеристик и параметры течения с теплообменом несжимаемого газа в целом в осесимметричных каналах переменной геометрии с предвключенным участком цилиндрической трубы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Володин Ю. Г., Марфина О. П. Расчет коэффициентов трения и теплоотдачи при нестационарном неизотермическом течении несжимаемого газа в осесимметричных каналах. — М.: Известия вузов. Машиностроение. — 2007. — № 3. — С. 21—26.
2. Кутателадзе С. С., Леонтьев А. И. Турбулентный пограничный слой сжимаемого газа. — Новосибирск: СО АН СССР, 1962. — 180 с.

621.43

## ПРОФИЛИРОВАНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОРШНЯ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Д-р техн. наук, проф. С.В. ПУТИНЦЕВ, асп. М.Д. ПРОНИН*

*Представлен обзор исследований в области профилирования и технологического сопровождения поршней двигателей внутреннего сгорания. Отмечены основные тенденции развития конструкций. Сделаны выводы, определившие круг задач, подлежащих решению для достижения цели снижения механических потерь путем профилирования и модификации боковой поверхности юбки поршня.*

*The review of researches in the field of profiling and technological support of explosion engines pistons is presented. The basic tendencies of constructions development are marked. The outputs which have defined a circle of problems, subject to the decision for reaching a purpose of lowering mechanical losses by profiling and modifying the lateral area of the piston skirt are drawn.*

**1. Состояние проблемы.** Несмотря на значительный прогресс двигателестроения, вызвавший в последние 10—15 лет существенное повышение технического уровня конструкций, механические потери до сих пор занимают значительную долю в тепловом балансе двигателя. Даже сегодня механический к.п.д. у большинства серийно выпускаемых отечественных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотракторного типа (без наддува) редко превышает значение 0,75 на номинальном режиме работы. То есть до 25% располагаемой мощности этих двигателей теряется безвозвратно на преодоление трения и других типов сопротивления движению и перемещению твердых тел и вязкой среды.

Общеизвестно, что в доле этих потерь от 40 до 60% приходится на механические потери в цилиндро-поршневой группе (ЦПГ) двигателя. Таким образом, сосредоточение