

УДК 621.43

Салангаараччи Д. (6 курс, каф. ДВС), И.А. Яксон (асп., каф. ДВС),  
А.Ю. Шабанов, к.т.н., доц.

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕЧЕНИЙ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ И БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Движение рабочего тела в камере сгорания ДВС обусловлено возмущениями как внешнего, так и внутреннего характера. Под внешним воздействием, прежде всего, подразумевается перемещение поршня, а также инерционное движение заряда, созданное во время впуска. Возмущением внутреннего характера является процесс сгорания в цилиндре. Указанные обстоятельства приводят к тому, что каждый момент времени, в объеме камеры сгорания имеются локальные значения скорости, что в свою очередь влияет на процессы теплообмена между рабочим телом и стенками камеры сгорания.

Исходной, для построения методов численного решения, является классическая система уравнений Навье-Стокса для конвекции в приближении квазинесжимаемой жидкости (изменение плотности происходит только за счет движения поршня и не зависит от изменения давления и протекания рабочего процесса):

$$\nabla \vec{V} = 0,$$
$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \vec{V}.$$

Для применения МКЭ, уравнения Навье-Стокса записываются в естественных переменных в следующем безразмерном виде:

$$-\frac{1}{Re} \Delta U + UU_x + VU_y + WU_z + p_x = 0,$$
$$-\frac{1}{Re} \Delta V + UV_x + VV_y + WV_z + p_y = 0,$$
$$-\frac{1}{Re} \Delta W + UW_x + VW_y + WW_z + p_z = 0,$$
$$U_x + V_y + W_z = 0.$$

Здесь  $U, V, W$  – компоненты вектора скорости в декартовой системе координат.

Данная система уравнений описывает течение вязкой жидкости в декартовой системе координат в некоторой области  $G$  с границей  $\Gamma$ . На границах области ставятся следующие граничные условия:

$$U|_{\Gamma} = U_{\Gamma p}, \quad V|_{\Gamma} = V_{\Gamma p}, \quad W|_{\Gamma} = W_{\Gamma p}.$$

Давление определяется с точностью до постоянной, поэтому для определенности:

$$p(x_0, y_0, z_0) = 0.$$

Приближенное решение задачи в области  $G$ :

$$U = U^l \Phi^l, \quad V = V^l \Phi^l, \quad W = W^l \Phi^l, \quad p = p^m \psi^m,$$

где  $\Phi^l(x, y, z)$  и  $\psi^m(x, y, z)$  – наборы линейно-независимых базисных функций. Применяя метод Галеркина, ортогонализацию невязки к базисным функциям  $\Phi^k$  и  $\psi^m$ , формулу Грина и учи-

тывая граничные условия, исходную систему уравнений можно привести к виду:

$$\int \left( \frac{1}{Re} U^1 \nabla \Phi^1 \nabla \Phi^k + (UU^1 \Phi_x^1 + VU^1 \Phi_y^1 + WU^1 \Phi_z^1 + p^m \Psi_x^m) \Phi^k \right) dx dy dz = 0$$

$$\int \left( \frac{1}{Re} V^1 \nabla \Phi^1 \nabla \Phi^k + (UV^1 \Phi_x^1 + VV^1 \Phi_y^1 + WV^1 \Phi_z^1 + p^m \Psi_y^m) \Phi^k \right) dx dy dz = 0$$

$$\int \left( \frac{1}{Re} W^1 \nabla \Phi^1 \nabla \Phi^k + (UW^1 \Phi_x^1 + VW^1 \Phi_y^1 + WW^1 \Phi_z^1 + p^m \Psi_z^m) \Phi^k \right) dx dy dz = 0$$

$$\int (U^1 \Phi_x^1 + V^1 \Phi_y^1 + W^1 \Phi_z^1) \Psi^m dx dy dz = 0,$$

или, переобозначив:

$$c^{1k} U^1 + d^{mk}_1 p^m = Fx,$$

$$c^{2k} V^1 + d^{mk}_2 p^m = Fy,$$

$$c^{3k} W^1 + d^{mk}_3 p^m = Fz,$$

$$e^{1m}_2 V^1 = 0.$$

Обозначив через  $X$  вектор искомых величин  $U^1, V^1, W^1, p^m$ , система может быть записана в матричном виде:

$$KX = F,$$

где  $K$  – «матрица жесткости». В случае нелинейных гидродинамических уравнений  $K=K(U, V, W)$ ;  $F$  – вектор гидродинамических сил.

На основе приведенного подхода был произведен расчет пространственного течения рабочего тела в камерах сгорания дизельных и бензиновых двигателей различных форм, в частности для камер сгорания типа ЦНИДИ и Гессельман (для дизелей) и клинообразной (бензиновый двигатель МеМЗ-245) при различных углах поворота коленчатого вала. Были получены полностью трехмерные поля скоростей, которые используются в дальнейшем для расчета конвективного теплообмена в цилиндре двигателя.

Для камер типа ЦНИДИ производились расчеты при различной ширине горловины и глубине камеры, для камер типа Гессельман – при различной глубине камеры и высоте вытеснителя. Полученные результаты хорошо согласуются с известными данными (экспериментальными и аналитическими) о влиянии этих параметров на картину течения в цилиндре.