ПУЛЬСАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ В КРИВОЛИНЕЙНОМ ОБЛАСТИ

Течения в криволинейных каналах и поверхностях находят широкое применение в технических агрегатах и устройствах, и требования высоко технологическим процессам порождает детальное исследование структуры таких течений. Задача усложняется тем, что течения в криволинейных каналах является трехмерным, которое обусловлено появлением вторичных течений в поперечном сечении. В настоящее время имеется значительное количество работ посвященных к различным аспектам данного вопроса. В то же время отсутствует надежные методы моделирования таких течений для инженерных расчетов. В настоящем разделе будет построена полуэмпирическая модель турбулентного сдвигового течения в канале со слабой кривизной $\frac{H}{R} << 1$. Рассмотрим полностью развитое турбулентное течение несжимаемой жидкости в канале с постоянной кривизной. Как и в предыдуюших разделах основой модели будет уравнения одноточечных моментов второго порядка полей скорости, записанных для чисто сдвигового развитого турбулентного течения, замкнутого на основе полуэмпирических гипотез Колмогорова-Ротта и с учетом центробежных сил вызванных кривизной канала уравнения примут вид

$$\overline{u_j u_k}\frac{\partial U_i}{\partial x_k}+\overline{u_i u_k}\frac{\partial U_j}{\partial x_k}+k\frac{\sqrt{E}}{l}\left(\overline{u_i u_j}-\frac{2}{3}\delta_{ij}E\right)+\frac{2}{3}c\delta_{ij}\frac{E^{3/2}}{l}+ \qquad (1)$$

$$+\frac{U_1}{R}\delta_{3i}\overline{u_1 u_j}-\frac{U_1}{R}\delta_{1i}\overline{u_3 u_j}=0$$

Решение уравнений (1) состоит из двух сомножителей, первый, из которых совпадает с выражением соответствующей величины в однородной среде, а второй учитывает влияние центробежных сил, связанный с кривизной потока и является функцией локального параметра кривизны:

$$-u_1 u_3 = l^2 \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3} \right)^2 \cdot \Omega_1 \qquad \Omega_1 = \frac{\psi^3 (1 + De)}{(\psi^2 - 6\alpha \cdot De + 4\alpha \cdot De^2)}$$

$$u_1^2 = \frac{2}{3}\left(1 + 2\frac{c}{k}\right)\frac{1}{c^{2/3}} l^2 \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3} \right)^2 \cdot \Omega_2 \tag{2}$$

$$\Omega_2 = \frac{\psi^2 \left[\frac{2}{3}\left(1 + 2\frac{c}{k}\right) \cdot \psi^2 - \frac{4}{3}\left(4 + 5\frac{c}{k}\right) \cdot \alpha \cdot De + \frac{4}{3}\left(1 + 5\frac{c}{k}\right) \cdot \alpha \cdot De^2 \right]}{\frac{2}{3}\left(1 + 2\frac{c}{k}\right) \cdot (\psi^2 - 6\alpha \cdot De + 4\alpha \cdot De^2)}$$

$$u_2^2 = \frac{2}{3}\left(1 - \frac{c}{k}\right)\frac{1}{c^{2/3}} l^2 \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3} \right)^2 \cdot \Omega_3 \qquad \Omega_3 = \psi^2$$

$$u_3^2 = \frac{2}{3}\left(1 - \frac{c}{k}\right)\frac{1}{c^{2/3}} l^2 \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3} \right)^2 \cdot \Omega_4$$

$$\Omega_4 = \frac{\psi^2 (\psi^2 - 4\alpha \cdot De + 6\alpha \cdot De^2)}{(\psi^2 - 6\alpha \cdot De + 4\alpha \cdot De^2)}$$

$$E_0 = \frac{1}{c^{2/3}} l^2 \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3} \right)^2 \cdot \psi^2 \qquad \psi = \sqrt{1 + \frac{2}{3}(1 + 4\alpha) De + \frac{1}{2}(1 - 8\alpha) De^2}$$

безразмерный локальный параметр кривизны:

$$De = \frac{U_1 / R}{\left(\dfrac{\partial U_1}{\partial x_3} \right)}$$

$$k = \sqrt{\frac{c}{k}} \left[\frac{2}{3} \left(\frac{k}{c} - 1 \right) \right]^{3/4}, \quad \text{c} = \left(\frac{c}{k} \right)^{3/2} \left[\frac{2}{3} \left(\frac{k}{c} - 1 \right) \right]^{3/4}$$

$$\sqrt{\alpha} = \frac{1}{k^2} \frac{2}{3} \left(1 - \frac{c}{k} \right)$$

Полученная модель турбулентности позволяет замыкать основные уравнения для движения и рассчитать приближенно пульсационные характеристики течения в слабо искривленных каналах и поверхностях. Как видно из (2) для модели не требуется дополнительной информации и эмпирических констант.