ПУЛЬСАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Влияние продольного магнитного поля на структуру турбулентного течения исследуются в различных работах и в этих работах рассматриваются двумерные и осесимметричные течения. Течения в продольном поле отличается от течения в поперечном поле тем что для продольной составляющей скорости отсутствует прямое воздействие магнитного поля. И при рассмотрении задач в двумерной постановке происходит потеря влияния поля по исключенной координате, который вносит существенный вклад в структуру турбулентных характеристик. Тогда как течение в поперечном поле (гартмановское течение) не испытывает такого искажения, потому что влияние поперечного поля, который присутствует в основном течении, намного превышает вклад вносимый остальными составляющими течения, и поэтому гартмановское течение допускает двумерную постановку задачи. Для исследование влияния продольного поле на турбулентное течение необходимо рассматривать исключительно трехмерную постановку задачи и соответственно турбулентные характеристики течения также должны иметь трехмерную структуру. Система уравнений для вторых моментов в продольном магнитном поле с учетом принятых допущений имеют вид

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

$$+\frac{\alpha_*\sigma}{\rho}(2\overline{u_i u_j}\mathrm{B}_s\mathrm{B}_s-\overline{u_i u_s}\mathrm{B}_j\mathrm{B}_s-\overline{u_j u_s}\mathrm{B}_i\mathrm{B}_s)=0 \qquad (1)$$

При решений (1) для продольного поля в отличии от поперечного поля необходимо учесть поперечную координату. Это связано с тем, что два поперечных координат имеют одинаковый порядок и вклад двух поперечных градиентов основного течения в кинетическую энергию турбулентности имеет одинаковый порядок, поэтому необходимо учитывать обе составляющие. Решение системы уравнений (4.8) имеет вид

$$-\overline{u_1 u_3} = l^2 \sqrt{\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2}\right)^2}\,\frac{\partial U_1}{\partial x_3} \cdot \Omega_1$$

$$-\overline{u_1 u_2} = l^2 \sqrt{\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2}\right)^2}\,\frac{\partial U_1}{\partial x_2} \cdot \Omega_2$$

$$\Omega_1 = \Omega_2 = \frac{\psi^3}{\left(\psi + \frac{St}{\sqrt{r}}\right)\left(\psi + \frac{2St}{\sqrt{r}}\right)} \qquad (2)$$

$$u_2^2 = \frac{2}{3}\left(1 - \frac{c}{k}\right)\frac{1}{c^{2/3}}\, l^2 \left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2}\right)^2\right] \cdot \Omega_3$$

$$u_3^2 = \frac{2}{3}\left(1 - \frac{c}{k}\right)\frac{1}{c^{2/3}}\, l^2 \left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2}\right)^2\right] \cdot \Omega_4$$

$$\Omega_3 = \Omega_4 = \frac{\psi^3}{\left(\psi + \frac{2St}{\sqrt{r}}\right)}$$

$$\overline{u_1^2} = \frac{2}{3}\left(1 + 2\frac{c}{k}\right)\frac{1}{c^{2/3}} l^2 \left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2}\right)^2\right] \cdot \Omega_5$$

$$\Omega_5 = \frac{\psi^2 \left[\frac{2}{3}\left(1 + 2\frac{c}{k}\right) \cdot \psi + \frac{4St}{\sqrt{r}})\right]}{\frac{2}{3}\left(1 + 2\frac{c}{k}\right) \cdot \left(\psi + \frac{2St}{\sqrt{r}}\right)}$$

$$E = \frac{1}{c^{2/3}} l^2 \left[\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2}\right)^2\right] \cdot \psi^2$$

$$\psi = \sqrt{1 + (n - 2p) \cdot St} - m \cdot St$$

Очевидно, что $\psi(0) = 1$, а также, что некоторые Ω_i из соображений симметрии должны совпадать. Безразмерное число Стюарта:

$$St = \frac{\alpha_* \sigma \mathrm{B}^2 / \rho}{\sqrt{\left(\frac{\partial U_1}{\partial x_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2}\right)^2}}$$

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

$$m = \sqrt{r} + \frac{3}{2c^{2/3}}, \quad n = \left(\sqrt{r} + \frac{2}{3}\frac{1}{c^{2/3}}\right)^2, \quad r = \frac{k^2}{\frac{2}{3}\left(1 - \frac{c}{k}\right)}$$

$$p = 1 + \frac{1}{\sqrt{r} \cdot c^{2/3}}$$

Полученные выражения для вторых моментов (2) позволяет замкнуть уравнение Рейнольдса для трехмерного течения проводящей жидкости в канале в присутствии продольного магнитного поля.