

СВОБОДНАЯ КОНВЕКЦИЯ МИКРОСТРУКТУРНОЙ ЖИДКОСТИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ СЛОЕ С ПРОНИЦАЕМЫМИ ГРАНИЦАМИ

Применение в науке и практике жидкостей с микроструктурой достаточно полно описано в [1]. Современные требования прикладных вопросов, связанных с использованием жидких сред с микроструктурой, диктуют необходимость теоретических исследований процессов теплопереноса.

Конвективные течения в жидкостях и газах, возникающие в поле тяжести из-за неоднородности температуры, при ее увеличении становятся неустойчивыми и приводят к турбулентности. К комбинированным конвективным течениям относят [2] суперпозицию конвективного течения и вынужденного течения, вызванного различными внешними воздействиями: градиентом давления, движением границ, вибрацией, вдуванием и отсосом через проницаемые границы и др.

Рассматривается течение микрополярной жидкости (МПЖ) в вертикальном слое между параллельными плоскостями $x = \mp h$ с температурами $T = \mp \Theta$. Границы слоя проницаемы: на плоскости $x = -h$ происходит однородное вдувание жидкости со скоростью U_0 , на плоскости $x = +h$ жидкость отсасывается с той же скоростью (рис. 1). На границах канала вертикальная составляющая скорости и скорость микровращения [1] принимаются равными нулю, а канал считается замкнутым сверху и снизу.

Задача имеет стационарное решение, в котором поперечная скорость $V_{0X}(x) = U_0$, продольная скорость $V_{0Z} = V_0(x)$, скорость микровращения $v_{0Y} = v_0(x)$, температура $T = T_0(x)$ и давление $p = p_0(z)$ находятся из уравнений

$$(1 + \varepsilon) \frac{d^2 V_0}{dx^2} + \frac{P_e}{P_r} \frac{dV_0}{dx} + \varepsilon \frac{dv_0}{dx} + T_0 \approx \frac{dp_0}{dz} = C, \quad (1)$$

$$\bar{\gamma} \frac{d^2 v_0}{dx^2} - \frac{2\bar{\gamma}}{(2 + \varepsilon)} \frac{P_e}{P_r} \frac{dv_0}{dx} - 2\varepsilon v_0 - 2\varepsilon \frac{dV_0}{dx} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{d^2 T_0}{dx^2} - P_e \frac{dT_0}{dx} = 0, \quad (3)$$

где P_r — число Прандтля; P_e — число Пекле (безразмерный параметр вдувания);

G_r — число Грасгофа; $V_{0X} = \frac{P_e}{G_r P_r}$ — безразмерная скорость поперечного движения;

$\varepsilon = \frac{k}{\mu}$ — вращательная вязкость; $\bar{\gamma} = \frac{\gamma}{\mu h^2}$ (далее в записи черту над γ опускаем) и пара-

метр j принят [1] как $j = \frac{2\gamma}{(\mu + 2k)}$.

В качестве единиц расстояния, времени, скорости, скорости микровращения, температуры и давления приняты соответственно h , $\rho h^2 / \mu$, $\rho h / \mu$, Θ , $\rho g \beta \Theta h^2 / \mu$, $\rho g \beta \Theta h$. Граничные условия для уравнений (1–3) и условие замкнутости потока запишутся в виде

$$V_0(\mp 1) = 0, v_0(\mp 1) = 0, T_0(\mp 1) = \mp 1, \int_{-1}^{+1} V_0(x) dx = 0. \quad (4)$$

Стационарное распределение температуры описывается нелинейной функцией

$$T_0 = \frac{\exp(P_e x) - \cosh(P_e)}{\sinh(P_e)}. \quad (5)$$

Уравнения (1), (2) сводятся к неоднородному дифференциальному уравнению третьего порядка вида

$$av_0''' + bv_0'' + cv_0' + d = C - T_0, \quad (6)$$

где коэффициенты a, b, c, d являются известными функциями параметров $f(P_e, R_e, \varepsilon, \gamma)$;

отношение $R_e = \frac{P_e}{P_r}$ есть число Рейнольдса, определенное по скорости вдувания.

Функции скорости микровращения $v_0(x)$ и продольной скорости $V_0(x)$ определялись для следующих значений: $P_e = 3, P_r = 2$; 1) $\varepsilon = 0,1, \gamma = 0,1$; 2) $\varepsilon = 0,05, \gamma = 0,1$; 3) $\varepsilon = 0,1, \gamma = 0,5$; 4) $\varepsilon = 0,1, \gamma = 1$.

Профили температуры и вертикальной скорости представлены на рисунках 1 и 2.

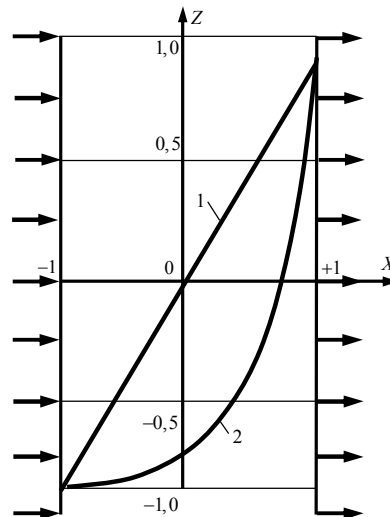


Рисунок 1 — Профили температуры: 1 — $P_e = 0$; 2 — $P_e = 3$

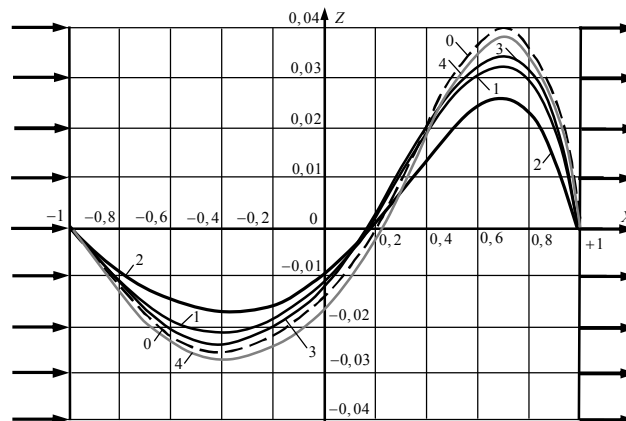


Рисунок 2 — Профили продольной скорости V_0 для значений $P_r = 2, P_e = 3$; 0 — $\varepsilon = 0, \gamma = 0$; 1 — $\varepsilon = 0,1, \gamma = 0,1$; 2 — $\varepsilon = 0,05, \gamma = 0,1$; 3 — $\varepsilon = 0,1, \gamma = 0,5$; 4 — $\varepsilon = 0,1, \gamma = 1$

Выводы:

1. На деформацию профиля продольной скорости, приводящую к формированию пограничных слоев [2] за счет нелинейности температуры и «сдувания» поперечным потоком, оказывают теперь влияние параметры МПЖ: вращательная вязкость k , коэффициент моментных напряжений γ и момент микроинерции j .

2. Частицы МПЖ в восходящем потоке имеют меньшую линейную скорость, чем находящиеся в тех же точках сечения слоя микроэлементы объема ньютоновской жидкости.

3. Зона разделения восходящего и нисходящего потоков зависит от соотношений между параметрами МПЖ. Так при $\varepsilon = 0,1$, $\gamma = 1$ зона восходящего потока сужается, а максимальная скорость в нисходящем потоке выше, чем в ньютоновской жидкости. Причиной такого свойства является влияние микроинерции структуры МПЖ.

4. При рассмотрении проблемы устойчивости найденного течения МПЖ методы, используемые в [2, 3], приводят к выводу, что наиболее опасными являются плоские возмущения.

Список литературы

1. Мигун, Н. П. Гидродинамика и теплообмен течений микроструктурной жидкости / Н. П. Мигун, П. П. Прохоренко. — Минск : Наука и техника, 1984. — 264 с.
2. Гершуни, Г. З. Устойчивость конвективных течений / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий, А. А. Непомнящий. — М. : Наука, 1989. — 320 с.
3. Listrov, A. T. On three — dimensional disturbances of convective microfluids flows / A. T. Listrov, V. I. Rubegzhansky // Lett. In Appl. and Eng. Sci., 1975. — Vol. 3. — No. 2. — P. 119–124.