УДК 532.526

Найда Т. - ст. гр. МБ-21
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

КОНВЕКТИВНИЙ ТЕПЛООБМІН В ОБЛАСТІ СТАБІЛІЗОВАНОЇ ТУРБУЛЕНТНОЇ ТЕЧІЇ РІДИНИ В КРУГЛІЙ ТРУБІ

Науковий керівник: к. т. н., доцент Романюк Л. А.

Naida T.
Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN TURBULENT FLUID FLOW STABILIZED IN A CIRCULAR PIPE

Supervisor: Romaniuk L. A.

Ключові слова: течія, теплообмін, енергія.
Keywords: flow, heat transfer, energy.

Розглянемо задачу про течію рідини в круглій трубі за наступних умов: 1) густина теплового потоку постійна по довжині труби $(q = Const)$; 2) течія і теплообмін квазістаціонарні, тобто осереднені параметри не змінюються в часі; 3) рідина нестислива, а її фізичні властивості постійні; 4) течія гідродинамічно стабілізована, тобто $w_x = f(R)$ і $w_r = 0$ та теплові пограничні шари зімкнулися; 5) зміна густини теплового потоку вздовж осі нескінченно мала в порівнянні з її зміною по радіусу; 6) внутрішні джерела теплоти відсутні $(q_v = 0)$, а надходження теплоти, викликане дисипацією кінетичної енергії, нескінченно мале.

Для даних умов рівняння енергії має вигляд

$$\rho c_\rho w_x \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rq) \qquad (1)$$

де

$$q = \rho c_\rho \left(\alpha + \varepsilon_q\right)\frac{\partial T}{\partial r}. \qquad (2)$$

Зміну середньо масової температури рідини за довжиною труби знаходимо з рівняння теплового балансу:

$$\bar{T} = T_0 + \frac{2q_{cm}}{\rho c_p r_0 \bar{w}} x,$$

звідки

$$\frac{d\bar{T}}{dx} = \frac{2q_{cm}}{\rho c_p r_0 \bar{w}} \qquad (3)$$

Розв'язок рівняння (1) будемо шукати в такому вигляді:

$$T(x,R) = T_1(x) + T_2(R) \qquad (4)$$

Підставляючи рівняння (4) в (1), отримаємо: $\frac{\partial T_1}{\partial x} = \frac{1}{w_x}\left(\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial R}\left(R\left(\alpha+\varepsilon_q\right)\frac{\partial T_2}{\partial R}\right)\right)$, тому що ліва частина цього рівняння залежить тільки від x, а права – тільки від R , що можливе тільки в тому випадку, коли $\frac{\partial T_1}{\partial x} = \frac{\partial T_2}{\partial x} = Const$. Згідно з (3) маємо:

$$\frac{\partial T_1}{\partial x} = \frac{\partial T_{cm}}{\partial x} = \frac{d\overline{T}}{dx} = \frac{2q_{cm}}{\rho c_p r_0 \overline{w}} . \qquad (5)$$

Таким чином, при стабілізованому теплообміні у випадку $q_{cm} = Const$ температура на будь-якій відстані від стінки труби, у тому числі і на стінці, змінюється за лінійним законом по довжині труби. Підставляючи $\frac{\partial T}{\partial x}$ в рівняння (1), отримаємо звичайне диференціальне рівняння:

$$2\frac{w_x}{\overline{w}} R = \frac{d}{dR}\left(R \frac{q}{q_{cm}} \right) \qquad (6)$$

Звідси, після інтегрувань матимемо:

$$T_{cm} - T = \int_R^1 \frac{\int_0^R \frac{w_x}{\overline{w}} RdR}{\left(1 + \frac{\Pr}{\Pr_r}\frac{\varepsilon}{\nu}\right)R} , \qquad (7)$$

де $\frac{\varepsilon_q}{\alpha} = \frac{\Pr}{\Pr_r}$ та $\Pr_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_q}$ - турбулентне число Прандтля.

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі за формулою:

$$\alpha = \frac{q_{cm}}{T_{cm} - \overline{T}} . \qquad (8)$$

За означенням:

$$T_{cm} - \overline{T} = 2\int_0^1 \left(T_{cm} - T\right) \frac{w_x}{\overline{w}} RdR \qquad (9)$$

Підставляючи в це рівняння $\left(T_{cm} - T\right)$ з рівняння (8), отримаємо:

$$T_{cm} - \overline{T} = \frac{2q_{cm}D}{\lambda} \int_0^1 u d\Omega , \qquad (10)$$

де $u = \int_R^1 \frac{\int_0^R \frac{w_x}{\overline{w}} RdR}{\left(1 + \frac{\Pr}{\Pr_r}\frac{\varepsilon}{\nu}\right)R}$, $d\Omega = \frac{w_x}{\overline{w}} RdR$, $\Omega = \int_0^R \frac{w_x}{\overline{w}} RdR$.

Після інтегрування отримуємо рівняння Лайона:

$$\frac{1}{Nu} = 2\int_0^1 \frac{\left(\int_0^R \frac{w_x}{\overline{w}} RdR\right)^2}{\left(1 + \frac{\Pr}{\Pr_r}\frac{\varepsilon}{\nu}\right)R} dR$$