

$$\begin{aligned} & \times \left\langle 30 \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{1}{3}} + \ln \left[\left(25 - 5 \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{2}{3}} \right) / \left(5 + \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^2 \right] \right\rangle \times \\ & \times \left[3 \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{\xi}{32} \text{Re}^2 + \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right) \left(\frac{\xi}{32} \right)^{\frac{3}{2}} \text{Re}^3 + 1 \right] - 6 \ln \left(1 + 5 \beta \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right) \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} + \\ & + \left\{ 2\sqrt{3} \arctg \left[10 \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{\sqrt{3}}{3} \pi \right\} \times \left\{ 3 \left(\frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{\xi}{32} \text{Re}^2 - \frac{\text{Pr} \beta}{\text{Pr}_T 25} \left(\frac{\xi}{32} \right)^{\frac{3}{2}} \text{Re}^3 - 1 \right\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 = & \frac{10 \text{Pr}_T (\sqrt{2\xi} \text{Pr} \text{Re} + 40 \text{Pr}_T - 40 \text{Pr})^3}{\text{Pr}^4 \xi^2 \text{Re}^4} \ln \left(1 + 5 \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right) - \frac{3125}{6} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right)^{-3} \times \\ & \times \left(\frac{\xi}{32} \right)^{-2} \text{Re}^4 \left[86 \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right)^2 - \frac{63}{5} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right)^2 \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} + \frac{9}{400} \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right)^2 \xi \text{Re}^2 - \right. \\ & \left. - 21 \left(1 - \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right) \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} + \frac{18}{5} \left(1 - \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right) \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} + 6 \left(1 - \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right)^2 \right]; \end{aligned} \quad (12)$$

$$I_3 = \frac{\left(\frac{h}{R_0} - \frac{30}{\text{Re} \sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{32}{\xi}} \right) \left(2 - \frac{h}{R_0} - \frac{30}{\text{Re} \sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{32}{\xi}} \right) \left[\left(1 - \frac{30}{\text{Re} \sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{32}{\xi}} \right)^2 + \left(1 - \frac{h}{R_0} \right)^2 \right]}{4 \left[1 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \left(1 - \frac{h}{R_0} \right) \frac{h}{R_0} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right]}; \quad (13)$$

$$\begin{aligned} I_4 = & \frac{-100}{\xi \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right)^2 \text{Re}^2} \left\{ \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \left(1 - \frac{h}{R_0} \right) \left(3 - \frac{h}{R_0} \right) + \left(1 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \right) \times \right. \\ & \left. \times \ln \left[-1 - \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \left(1 - \frac{h}{R_0} \right) \frac{h}{R_0} \right] \right\} + 5\pi \left\langle \frac{20 \text{Pr}_T^2}{\xi \text{Re}^2 \text{Pr}^2} + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\xi} \text{Re} \text{Pr}} \right\rangle i + \\ & + \left\{ \text{arcth} \left[\frac{\sqrt{\frac{2}{5} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \sqrt{\frac{\xi}{32}}}}{\sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}} \frac{1 - 2 \frac{h}{R_0}}{\sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}} \right] + \text{arcth} \left[\frac{\sqrt{\frac{2}{5} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \sqrt{\frac{\xi}{32}}}}{\sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}} \right] \right\} \times \end{aligned}$$

$$\times \frac{3 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \operatorname{Re} \frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T}}{\left(\frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \operatorname{Re} \frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\xi}{32}} \operatorname{Re} \frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T}}}. \quad (14)$$

3. Сравнение точного решения задачи об интенсифицированном теплообмене с существующими решениями

Решения Мигая, согласно [7—9], выглядят гораздо проще, чем полученные в данной работе (10)—(14). Очевидно, что точные решения задачи об интенсифицированном теплообмене, представленные в рамках данной работы, гораздо сложнее, чем решения Мигая, что является единственным недостатком первых по отношению к последним. Сравнение результатов расчёта по точным решениям и по решениям Мигая необходимо проводить, сравнивая оба этих решения не только между собой, но и с имеющимися экспериментальными данными. Полученные отношения чисел Нуссельта, рассчитанных по точным решениям Nu , к соответствующим числам Нуссельта, рассчитанных по формулам Мигая Nu^M , в зависимости от числа Рейнольдса при различных числах Прандтля при следующих геометрических параметрах турбулизаторов: $t/D=1$; $d/D=0,90$ (t — расстояние между турбулизаторами; d — внутренний диаметр кольцевых канавок; D — внутренний диаметр трубы), показывают, что решение Мигая даёт заниженные результаты относительно точного решения для низких зна-

чений числа Прандтля и завышенные для высоких во всём диапазоне чисел Рейнольдса. Для более высоких чисел Рейнольдса это расхождение выше при высоких числах Прандтля и ниже — при низких. Анализ результатов расчётов по точным формулам и по формулам Мигая в зависимости от числа Рейнольдса при прочих равных условиях показывает, что их расхождение может быть довольно значительным — порядка (10÷15)%. Полученные отношения чисел Нуссельта, рассчитанных по точным решениям Nu , к соответствующим числам Нуссельта, рассчитанных по формулам Мигая Nu^M , в зависимости от относительного диаметра трубы с турбулизаторами d/D при различных числах Прандтля при относительном шаге между турбулизаторами $t/D=1$ и числе Рейнольдса $Re=10^4$ показывают, что решение Мигая даёт заниженные результаты относительно точного решения для низких значений числа Прандтля и завышенные для высоких во всём диапазоне относительных диаметров для труб с турбулизаторами. Для более высоких относительных высот турбулизаторов это расхождение выше при высоких числах Прандтля и ниже — при низких. Подробный анализ результатов расчётов по точным формулам и