4. Турбулентное ядро. Турбулентное ядро располагается в следующей окрестности: $R \in \left[0;1-\frac{h}{R_0}\right]$. В области турбулентного ядра принимается:

$$\frac{\mu_T}{\mu} = 0.4\,\mathrm{Re}\sqrt{\frac{\xi}{32}}(1-R)R\,, \tag{7}$$

$$\frac{w_x}{\overline{\overline{w_x}}} = \left[1.325\sqrt{\xi}+1\right](1-R)^{\sqrt{\xi}}. \tag{8}$$

Решение задачи об интенсифицированном теплообмене в данной работе получается с помощью интеграла Лайона:

$$\mathrm{Nu} = 2\Bigg/\left(\int_0^1 \frac{R^3}{1+\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_T}\frac{\mu_T}{\mu}}dR\right), \tag{9}$$

где $\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_T}$ — отношение молекулярного и турбулентного чисел Прандтля. В отличие от предыдущих работ ([7-9], а также [3-5]) в рамках данной работы не используется дополнительного допущения о том, что максимальный и средний температурные напоры при интенсифицированном теплообмене соотносятся так же, как и в случае гладкой трубы, т.е. соотношением $(T_w - T_m)/(T_w - \overline{T}) = 1 + 1{,}75/(\mathrm{Pr}+8)$ (T_w — температура стенки; T_m — максимальная температура потока; $\overline{T}$ — среднемассовая температура потока). Данное допущение является довольно приблизительным, поскольку деформация температурного поля при интенсификации теплообмена довольно значительна. Количественные соотношения, подтверждающие вышеуказанный вывод, приведены в работе [3]. В рамках данной работы удалось избежать этого допущения, поскольку интегрирование производится по безразмерному радиусу, в то время как в работах [3-5, 7-9] — по безразмерной высоте. Точные решения задачи об интенсифицированном теплообмене выглядят следующим образом:

$$\mathrm{Nu} = \frac{2}{\sum_{i=1}^{4} I_i} \;\forall\; \frac{h}{R_0} > \frac{30}{\mathrm{Re}\sqrt{\frac{\xi}{32}}}; \tag{10}$$

$$I_1 = -\frac{1}{6}\left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_T}\frac{\beta}{25}\right)^{-\frac{4}{3}}\left(\frac{\xi}{32}\right)^{-2}\mathrm{Re}^{-4}\times \tag{11}$$

$$\times\left\langle 30\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{\frac{1}{3}}+\ln\left[\left(25-5\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{-\frac{1}{3}}+\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{-\frac{2}{3}}\right)\Big/\left(5+\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{-\frac{1}{3}}\right)^{2}\right]\times\right.$$

$$\times\left[3\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{\frac{2}{3}}\frac{\xi}{32}\mathrm{Re}^2+\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)\left(\frac{\xi}{32}\right)^{\frac{3}{2}}\mathrm{Re}^3+1\right]-6\ln\left(1+5\beta\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{\frac{1}{3}}\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}+$$

$$\left.+\left\{2\sqrt{3}\,arctg\left\{\left[10\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{\frac{1}{3}}-1\right]\frac{\sqrt{3}}{3}\right\}+\frac{\sqrt{3}}{3}\pi\right\}\times\left\{3\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\right)^{\frac{2}{3}}\frac{\xi}{32}\mathrm{Re}^2-\frac{\Pr}{\Pr_T}\frac{\beta}{25}\left(\frac{\xi}{32}\right)^{\frac{3}{2}}\mathrm{Re}^3-1\right\}\right\rangle;$$

$$I_2=\frac{10\Pr_T\left(\sqrt{2\xi}\Pr\mathrm{Re}+40\Pr_T-40\Pr\right)^3}{\Pr^4\xi^2\mathrm{Re}^4}\ln\left(1+5\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)-\frac{3125}{6}\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)^{-3}\times$$

$$\times\left(\frac{\xi}{32}\right)^{-2}\mathrm{Re}^4\left[86\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)^2-\frac{63}{5}\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)^2\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}+\frac{9}{400}\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)^2\xi\mathrm{Re}^2-\right. \qquad (12)$$

$$\left.-21\left(1-\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)\frac{\Pr}{\Pr_T}+\frac{18}{5}\left(1-\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)\frac{\Pr}{\Pr_T}\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}+6\left(1-\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)^2\right];$$

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

$$I_4=\frac{-100}{\xi\left(\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)^2\mathrm{Re}^2}\left\{\frac{2}{5}\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}\frac{\Pr}{\Pr_T}\left(1-\frac{h}{R_0}\right)\left(3-\frac{h}{R_0}\right)+\left(1+\frac{2}{5}\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}\frac{\Pr}{\Pr_T}\right)\times\right.$$

$$\left.\times\ln\left[-1-\frac{2}{5}\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}\frac{\Pr}{\Pr_T}\left(1-\frac{h}{R_0}\right)\frac{h}{R_0}\right]\right\}+5\pi\left\langle\frac{20\Pr_T^2}{\xi\mathrm{Re}^2\Pr^2}+\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\xi}\mathrm{Re}\Pr}\right\rangle i+$$

$$+\left\{arcth\left[\sqrt{\frac{2}{5}\mathrm{Re}\frac{\Pr}{\Pr_T}}\sqrt[4]{\frac{\xi}{32}}\frac{1-2\frac{h}{R_0}}{\sqrt{4+\frac{2}{5}\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}\frac{\Pr}{\Pr_T}}}\right]+arcth\left[\frac{\sqrt{\frac{2}{5}\mathrm{Re}\frac{\Pr}{\Pr_T}}\sqrt[4]{\frac{\xi}{32}}}{\sqrt{4+\frac{2}{5}\sqrt{\frac{\xi}{32}}\mathrm{Re}\frac{\Pr}{\Pr_T}}}\right]\right\}\times$$