

Лобанов Игорь Евгеньевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ
ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ В ТРУБАХ С ТУРБУЛИЗАТОРАМИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЧЕТЫРЁХСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ**

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2011/9/9.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2011. № 9 (52). С. 29-35. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2011/9/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

Список литературы

1. **Ипатов Д. Е.** Некоторые подходы к численному моделированию трехмерной нелинейной задачи гидротермодинамики // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2010. № 1 (32). Ч. 1. С. 14-16.
2. **Ипатова В. М.** Задача ассимиляции данных об определении коэффициентов и начального условия для трехмерной модели гидротермодинамики океана // Фундаментальные и прикладные проблемы современной математики. М.: МФТИ, 2010. С. 102-111.
3. **Открытие, экспериментальное исследование и разработка теории течения Ломоносова** / под ред. А. Г. Колесникова. Севастополь: Изд. МГИ, 1968.
4. **Федотов К. Н.** Тонкая термохалинная структура вод океана. Л.: Гидрометеиздат, 1976.
5. **Ipatova V. M.** Solvability of the Ocean Hydrothermodynamics Problem under a Nonlinear State Equation // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2008. V. 23. № 2. P. 185-196.

УДК 532.517.4:621:669

Игорь Евгеньевич Лобанов
Московский авиационный институт

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ В ТРУБАХ С ТУРБУЛИЗАТОРАМИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ
ЧЕТЫРЁХСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ[©]

Интенсификация теплообмена при турбулентном течении в прямых круглых трубах

В различных областях техники широко применяются различного рода теплообменники, в которых, в результате интенсификации теплообмена, может быть достигнуто снижение их массогабаритных показателей при заданных значениях теплового потока, гидравлических потерь, расходов и температур теплоносителей; в ряде случаев задачей является снижение температурного уровня поверхности теплообмена при фиксированных режимных и конструктивных характеристиках.

Расчётные методы исследования интенсификации теплообмена при турбулентном течении в трубах разработаны ещё недостаточно. Часто они опираются на упрощённые модели сложных физических явлений, при этом допущения приводят к значительной разнице между расчётными и экспериментальными данными.

Экспериментальные данные по теплообмену справедливы только для определённого вида течений и типоразмеров турбулизаторов, на которых были проведены опытные исследования.

В связи с этим необходима разработка новых, более точных, чем существующие теоретических методов исследования интенсификации теплообмена при турбулентном течении в трубах.

В рамках данного исследования под интенсификацией теплообмена понимаются применение искусственных турбулизаторов потока на поверхности, а также шероховатые поверхности (Рис. 1) [2; 9].

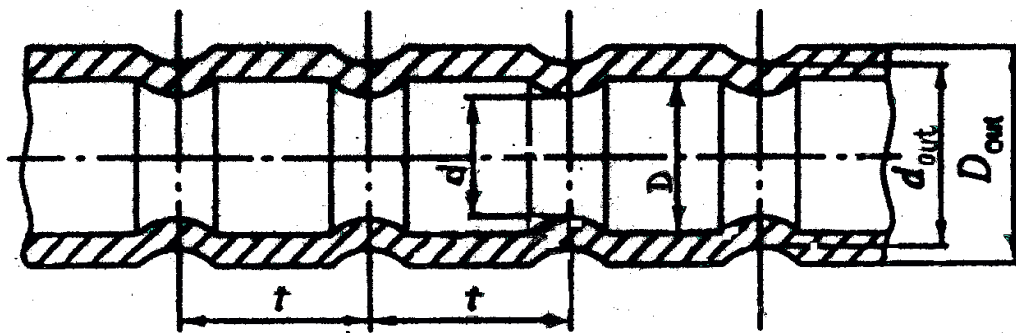


Рис. 1. Продольный разрез трубы с турбулизаторами

Модель предполагает двумерную шероховатость. Рассматриваются двумерные поверхности с турбулизаторами, которые применимы и для труб с периодическими диафрагмами.

Модель интенсификации теплообмена

Теплообмен при течении в каналах теплоносителей с постоянными теплофизическими свойствами в условиях интенсификации теплообмена моделируется четырёхслойной схемой турбулентного потока (Рис. 2).

Впервые подобная схема расчёта теплообмена была использована в работах [6-8], а затем существенным образом усложнена в работах [1; 4; 5].

Применим данную модель расчёта теплообмена при турбулентном течении в каналах в условиях интенсификации теплообмена без применения дополнительных допущений, сделанных как в работах [6-8], так и в работах [1; 4; 5].

Теперь следует перейти к непосредственному рассмотрению каждого из подслоёв.

1. Вязкий подслой

Вязкий подслой располагается в следующей окрестности: $R \in \left[1 - \frac{1}{\text{Re}} \sqrt{\frac{32}{5}}; 1\right]$, где R - безразмерный радиус трубы (отношение расстояния от оси трубы r к радиусу трубы R_0); $\frac{1}{5} = 5$ - постоянная, характеризующая безразмерную толщину вязкого подслоя [3], $\frac{1}{\text{Re}}$ - коэффициент сопротивления трению.

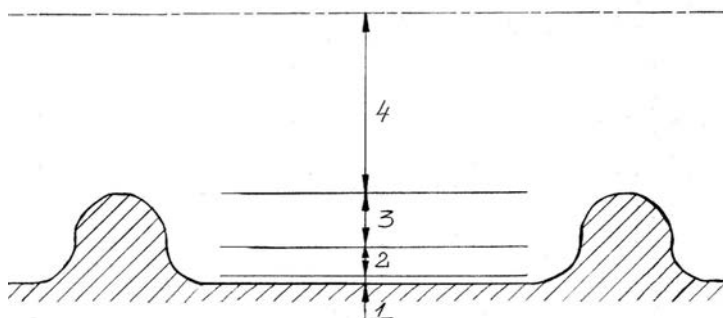


Рис. 2. Схема разбиения потока на слои (1 - вязкий подслой; 2 - промежуточная область; 3 - вихревое ядро во впадине между турбулизаторами; 4 - турбулентное ядро со стабилизированным профилем скорости в основном потоке)

В области вязкого подслоя принимается, что:

$$\frac{\tau}{\mu} = \frac{3}{2} = \frac{1}{2} \text{Re}^3 (1-R)^3 \left(\frac{1}{32}\right)^{\frac{3}{2}}; \quad (1)$$

$$\frac{w_x}{w_x} = \frac{1}{16} \text{Re} (1-R), \quad (2)$$

где $\frac{\tau}{\mu}$ - отношение турбулентной и молекулярной динамических вязкостей; $\frac{w_x}{w_x}$ - отношение аксиальной составляющей скорости к среднерасходной; $(1-R) \text{Re} \sqrt{\frac{1}{32}}$ - безразмерная координата; $\frac{1}{2}$ - постоянная в законе «третьей степени»: $\frac{\tau}{\mu} = \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta}\right)^3$ [Там же].

2. Промежуточный подслой

Промежуточный подслой располагается в следующей окрестности: $R \in \left[1 - \frac{2}{\text{Re}} \sqrt{\frac{32}{5}}; 1 - \frac{1}{\text{Re}} \sqrt{\frac{32}{5}}\right]$, где $\frac{2}{5} = 30$ [Там же].

В области промежуточного подслоя принимается, что:

$$\frac{\tau}{\mu} = \frac{1}{5} - 1 = \frac{\text{Re}}{5} (1-R) \sqrt{\frac{1}{32}} - 1; \quad (3)$$

$$\frac{w_x}{w_x} = 5 \sqrt{\frac{1}{8}} \left[1 + \ln\left(\frac{1}{5}\right)\right] = 5 \sqrt{\frac{1}{8}} \left\{1 + \ln\left(\frac{\text{Re}}{5} (1-R) \sqrt{\frac{1}{32}}\right)\right\}. \quad (4)$$

3. Вихревое ядро во впадине

Вихревое ядро во впадине располагается в следующей окрестности: $R \in \left[1 - \frac{h}{R_0}; 1 - \frac{2}{\text{Re}} \sqrt{\frac{32}{5}}\right]$, где h - высота турбулизатора.

В области вихревого ядра во впадине принимается:

$$\frac{\tau}{\mu} = \frac{2}{5} \text{Re} \sqrt{\frac{1}{32}} \left(1 - \frac{h}{R_0}\right) \frac{h}{R_0}; \quad (5)$$

$$\frac{w_x}{w_x} = \sqrt{\frac{1}{8}} \left\{ 5,5 + 2,5 \ln \left[\frac{R_0}{h} (1-R) \right] \right\}. \quad (6)$$

4. Турбулентное ядро

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

В области турбулентного ядра принимается:

$$\frac{\tau}{\mu} = 0,4 \operatorname{Re} \sqrt{\frac{1}{32}} (1-R) R, \quad (7)$$

$$\frac{w_x}{w_x} = \left[1,325 \sqrt{\frac{1}{32}} + 1 \right] (1-R)^{\sqrt{\frac{1}{32}}}. \quad (8)$$

Точное решение задачи об интенсифицированном теплообмене при турбулентном течении в круглых трубах с применением четырёхслойной схемы турбулентного пограничного слоя

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

$$\operatorname{Nu} = 2 \left/ \left(\int_0^1 \frac{R^3}{1 + \frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{\tau}{\mu}} dR \right) \right., \quad (9)$$

где $\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T}$ - отношение молекулярного и турбулентного чисел Прандтля.

В отличие от предыдущих работ ([6-8], а также [1; 4; 5]) в рамках данной работы не используется дополнительное допущения о том, что максимальный и средний температурные напоры при интенсифицированном теплообмене соотносятся так же, как и в случае гладкой трубы, т.е. соотношением $\frac{T_w - T_m}{T_w - \bar{T}} = 1 + \frac{1,75}{\operatorname{Pr} + 8}$

(T_w - температура стенки; T_m - максимальная температура потока; $\bar{T}$ - среднemasовая температура потока). Данное допущение является довольно приблизительным, поскольку деформация температурного поля при интенсификации теплообмена довольно значительна. Количественные соотношения, подтверждающие вышеуказанный вывод, приведены в работе [1]. В рамках данной работы удалось избежать этого допущения, поскольку интегрирование производится по безразмерному радиусу, в то время как в работах [4-8] - по безразмерной высоте.

Точные решения задачи об интенсифицированном теплообмене выглядят следующим образом:

$$\operatorname{Nu} = \frac{2}{\sum_{i=1}^4 I_i} \forall \frac{h}{R_0} > \frac{30}{\operatorname{Re} \sqrt{\frac{1}{32}}}; \quad (10)$$

$$I_1 = -\frac{1}{6} \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{1}{32} \right)^{-2} \operatorname{Re}^{-4} \left\langle 30 \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{1}{3}} + \ln \left[\frac{25 - 5 \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{2}{3}}}{\left(5 + \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^2} \right] \times \right. \\ \times \left[3 \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{1}{32} \operatorname{Re}^2 + \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right) \left(\frac{1}{32} \right)^{\frac{3}{2}} \operatorname{Re}^3 + 1 \right] - 6 \ln \left(1 + 5 \frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \right) \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{1}{32}} \operatorname{Re} + \\ \left. + \left(2\sqrt{3} \operatorname{arctg} \left(\left(10 \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) \frac{\sqrt{3}}{3} \right) + \frac{\sqrt{3}}{3} \right) \left(3 \left(\frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{1}{32} \operatorname{Re}^2 - \frac{\operatorname{Pr}}{\operatorname{Pr}_T} \frac{1}{25} \left(\frac{1}{32} \right)^{\frac{3}{2}} \operatorname{Re}^3 - 1 \right) \right\rangle; \quad (11)$$

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

$$\begin{aligned}
& -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{\text{Re}}{32}} + 6 \left(1 - \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}\right)^2; \\
I_3 = & \frac{\left(\frac{h}{R_0} - \frac{30}{\text{Re}} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}}\right) \left(2 - \frac{h}{R_0} - \frac{30}{\text{Re}} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}}\right) \left[\left(1 - \frac{30}{\text{Re}} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}}\right)^2 + \left(1 - \frac{h}{R_0}\right)^2\right]}{4 \left[1 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \left(1 - \frac{h}{R_0}\right) \frac{h}{R_0} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}\right]}; \\
I_4 = & \frac{-100}{\left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}\right)^2 \text{Re}^2} \left\{ \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{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{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}\right) \times \right. \\
& \times \ln \left[-1 - \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \left(1 - \frac{h}{R_0}\right) \frac{h}{R_0} \right] \left. + 5 \left\langle \frac{20 \text{Pr}_T^2}{\text{Re}^2 \text{Pr}^2} + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\text{Re} \text{Pr}}} \right\rangle i + \right. \\
& + \left\{ \text{arth} \left[\frac{\sqrt{\frac{2}{5}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \frac{1 - 2 \frac{h}{R_0}}{\sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}} \right] + \text{arth} \left[\frac{\sqrt{\frac{2}{5}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}}}{\sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}} \right] \right\} \times \\
& \times \frac{3 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}{\left(\frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}}.
\end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
& \times \frac{3 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}{\left(\frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{4 + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \text{Re} \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_T}}}.
\end{aligned} \tag{14}$$

Сравнение точного решения задачи об интенсифицированном теплообмене с существующими решениями

Решения Мигая, согласно [6-8], выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}
\text{Nu}^M = & \left(1 + \frac{1,75}{\text{Pr} + 8}\right) \text{Re} \text{Pr} \sqrt{\frac{\text{Re}}{8}} \left\{ \sqrt{\frac{8}{\text{Re}}} \left(1,325 \sqrt{\frac{\text{Re}}{8}} + 1\right) \left(1 - \frac{h}{R_0}\right)^{\sqrt{\frac{\text{Re}}{8}}} + 5 \text{Pr} \left(\frac{1,285}{\text{Pr}^{0,21}} - \frac{0,265}{\text{Pr}^{1,2}}\right) + \right. \\
& + 5 \ln(5 \text{Pr} + 1) + \left. \left(\frac{h}{R_0} \text{Re} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} - 30\right) \left/ \left(\frac{1}{\text{Pr}} + 0,4 \text{Re} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}} \left(1 - \frac{h}{R_0}\right) \frac{h}{R_0}\right) \right\}^{-1}, \\
\forall \frac{h}{R_0} > & \frac{30}{\text{Re} \sqrt{\frac{\text{Re}}{32}}}.
\end{aligned} \tag{15}$$

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.

На Рис. 3 приведены 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).

Из Рис. 3 видно, что решение Мигая даёт заниженные результаты относительно точного решения для низких значений 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)%. На Рис. 4 приведены 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 $\text{Re}=10^4$.

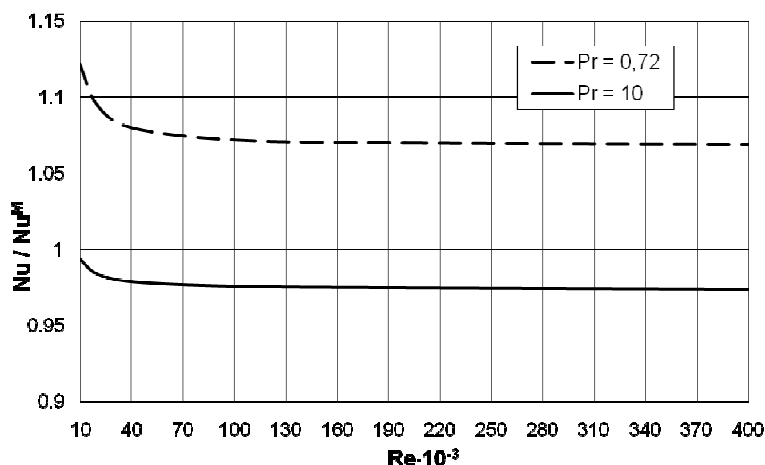


Рис. 3. Отношения чисел Нуссельта, рассчитанного по точным и приближенным решениям в зависимости от числа Рейнольдса при различных числах Прандтля при $t/D=1$; $d/D=0,90$

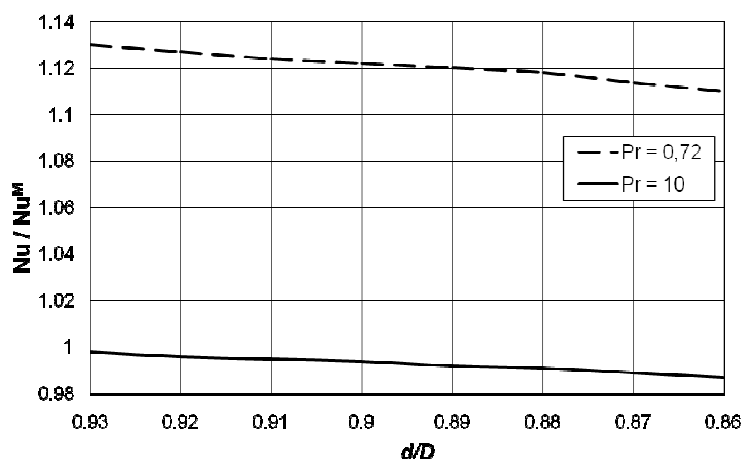


Рис. 4. Отношения чисел Нуссельта, рассчитанных по точным и приближенным решениям в зависимости от относительного диаметра трубы с турбулизаторами d/D при различных числах Прандтля при относительном шаге между турбулизаторами $t/D=1$ и числе Рейнольдса $Re=10^4$

Из Рис. 4 видно, 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 по формулам Мигая в зависимости от относительной высоты между турбулизаторами при прочих равных условиях показывает, что их расхождение может быть довольно значительным - порядка (10÷15)%.

После непосредственного сравнения представленных решений между собой, необходимо сравнить эти решения с существующими экспериментальными данными по теплообмену для труб с периодически расположенными поверхностными турбулизаторами [2; 9].

На Рис. 5 представлено сравнение точного решения для интенсифицированного теплообмена и решения Мигая с экспериментальными данными [Там же] для труб с турбулизаторами при $t/D=1$, $Pr=0,72$, $Re=4 \cdot 10^5$ в зависимости от относительного диаметра труб с турбулизаторами d/D .

Из Рис. 5 видно, что точное решение гораздо лучше соответствует существующим экспериментальным данным во всём диапазоне d/D .

На Рис. 6 представлено аналогичное сравнение, но при $t/D=1$, $d/D=1$, $Pr=0,72$ и в зависимости от числа Рейнольдса, из которого видно, что точное решение гораздо лучше соответствует существующим экспериментальным данным почти во всём диапазоне чисел Рейнольдса.

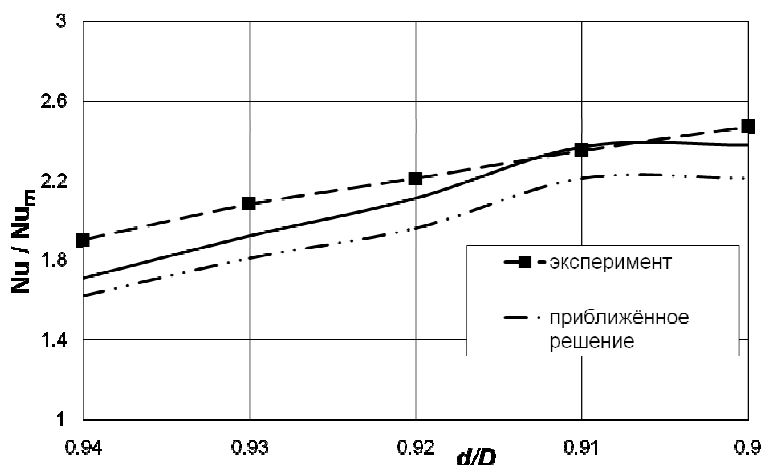


Рис. 5. Сравнение точного и приближенного решений для интенсифицированного теплообмена с экспериментальными данными [2; 9] для труб с турбулизаторами при $t/D=1$, $Pr=0,72$, $Re=4 \cdot 10^5$ в зависимости от относительного диаметра труб с турбулизаторами d/D

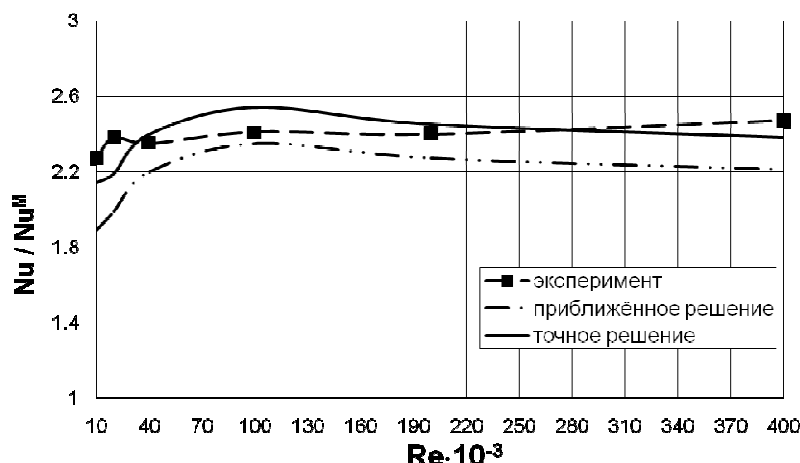


Рис. 6. Сравнение точного и приближенного решений для интенсифицированного теплообмена с экспериментальными данными [2; 9] для труб с турбулизаторами при $t/D=1$, $d/D=1$, $Pr=0,72$ и в зависимости от числа Рейнольдса

Подробное расчётное исследование теплообмена в трубах с турбулизаторами посредством точного решения задачи о теплообмене и посредством решений Мигая в диапазоне геометрических параметров турбулизаторов и режимов течения, приведённом в экспериментальном материале [Там же], показывает, что средняя погрешность расчёта по точным решениям, приведённым в рамках данного исследования, по отношению к эксперименту составляет порядка 5%, в то время как формулы Мигая дают погрешность в среднем более 10%.

Следовательно, точные решения, полученные в данной работе, гораздо качественнее описывают имеющийся экспериментальный материал, чем существующие решения.

Применение точных решений можно считать оправданным, несмотря на их относительную сложность.

Эффективность применения интенсификации теплообмена детерминирована на основе классических методов [Там же].

Вышеприведённое применение данного вида турбулизаторов в теплообменных аппаратах позволит при прочих равных условиях значительно интенсифицировать процесс теплообмена при относительно незначительной конструктивной девиации.

Основные выводы

Резюмируя полученные данные, можно сказать, что в рамках данной главы разработана теоретическая модель для расчёта теплообмена при турбулентном течении в каналах в условиях интенсификации теплообмена, отличающаяся от известных моделей более высокой точностью, отсутствием дополнительных допущений, учётом большего числа параметров, оказывающих влияние на процесс интенсифицированного теплообмена. Существующие решения могут быть охарактеризованы как частный случай этих точных решений; точные решения являются более сложными по отношению к существующим решениям.

Получены точные решения задачи об интенсифицированном теплообмене для данной постановки задачи. Полученные расчётные данные по интенсифицированному теплообмену хорошо соответствуют

существующим экспериментальным данным, имея гораздо меньшую погрешность по отношению к последним, чем существующие решения.

Применение теоретических разработок, сгенерированных в работе, позволит в значительной степени улучшить режимы работы оборудования, используемого в современном металлургическом производстве, снизить его массогабаритные показатели, увеличить его эксплуатационный ресурс. Полученные в работе теоретические расчётные данные по интенсифицированному теплообмену могут быть рекомендованы для расчёта виртуальных возможностей перспективного теплообменного оборудования современного металлургического производства в целях дальнейшего его совершенствования.

Список литературы

1. Дрейцер Г. А., Лобанов И. Е. Моделирование изотермического теплообмена при турбулентном течении в каналах в условиях интенсификации теплообмена // Теплоэнергетика. 2003. № 1. С. 54-60.
2. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.
3. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 416 с.
4. Лобанов И. Е. Математическое моделирование интенсифицированного теплообмена при турбулентном течении в каналах: дисс. ... доктора технических наук. М., 2005. 632 с.
5. Лобанов И. Е. Моделирование теплообмена и сопротивления при турбулентном течении в каналах теплоносителей в условиях интенсификации теплообмена // Труды Третьей российской национальной конференции по теплообмену: в 8-ми т. М., 2002. Т. 6. Интенсификация теплообмена. Радиационный и сложный теплообмен. С. 140-143.
6. Мигай В. К. Интенсификация конвективного теплообмена в трубах и каналах теплообменного оборудования: дисс. ... доктора технических наук. Л., 1973. Т. 1. 327 с.; Т. 2. 85 с.
7. Мигай В. К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. Л.: Энергоатомиздат (Ленинградское отделение), 1987. 263 с.
8. Мигай В. К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия (Ленинградское отделение), 1980. 144 с.
9. Эффективные поверхности теплообмена / Э. К. Калинин, Г. А. Дрейцер, И. З. Копп и др. М.: Энергоатомиздат, 1998. 408 с.

УДК 681.3

Левон Ашотович Манучарян

Воронежская государственная лесотехническая академия

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ®

Извлечение смысловой информации является главным направлением эволюции глобальной сети на данный момент, а системы и приложения, предназначенные для извлечения информации, должны обеспечить высокую производительность для эффективного взаимодействия с конечным пользователем. Несмотря на факт, что многие системы извлечения применяются в коммерческих или исследовательских приложениях, опубликованные исследования, адресованные разным аспектом производительности при извлечении информации, начали появляться только в последнее время. Системы извлечения могут быть внедрены в двух режимах. При одном режиме, неструктурированный источник заранее доступен, например, в закрытых системах вроде хранилища данных или системы обработки жалоб. При втором режиме, неструктурированный источник является открытым и довольно обширным, например, всемирная сеть. В таком случае часть процесса извлечения подразумевает выбор релевантного подмножества документов. Обычно, при первом режиме, пользователь заинтересован в аннотации всех встречающихся сущностей/связей в неструктурированном источнике, тогда как при втором режиме, целью является создание хранилища структурированных сущностей. Поэтому обрабатываются только документы, с наибольшей вероятностью содержащие новые сущности. В статье рассматриваются оптимизации, которые делают выбор документов эффективным. Далее следует фаза фильтрации внутри документа, с рассмотрением только релевантных (представляющих интерес) частей в документе. Например, в случае с системой цитирования, необходимо разработать быстрые тесты для нахождения заголовков и ссылочных разделов документов. Существующие решения в данном направлении предметно-специфичны, поэтому не существует обобщенной системы для рассмотрения. Конечным шагом является применение экстракторов на подмножестве выбранных документов. Большинство алгоритмов извлечения линейно масштабируются в зависимости от размеров входных данных. Но даже в таком случае, существует необходимость оптимизации производительности, так как предварительная обработка и генерация свойств являются довольно затратными задачами. Существующие системы, основанные на шаблонах извлечения, почти всегда базированы на интенсивном употреблении процессорных ресурсов. Ввод/вывод фигурирует только при нахождении совпадения сущностей с существующей базой данных сущностей. Оба метода, основанные на правилах и на статистике, для распознавания сущностей и связей