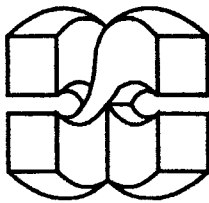


INFORMATION TECHNOLOGY
SCIENCE • TECHNIQUE • TECHNOLOGY
EDUCATION • HEALTH

PRINTED SCIENTIFIC WORKS



Министерство образования Украины
Харьковский государственный политехнический университет

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
НАУКА, ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ,
ОБРАЗОВАНИЕ, ЗДОРОВЬЕ**

Сборник научных трудов ХГПУ

Выпуск 6

В четырех частях

Часть
третья

Харьков 1998

Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сборник научных трудов ХГПУ. Вып. 6. В четырех частях. Ч. 3.- Харьков: Харьк. гос. политехн. ун-т, 1998. - 543 с.

В третьей части представлены работы, отражающие актуальные вопросы использования ЭВМ для решения задач разработки и совершенствования химических технологий.

Для научных работников, специалистов, преподавателей, аспирантов, студентов высших учебных заведений соответствующих специальностей.

Утверждено к печати ученым советом ХГПУ,
протокол № 3 от 27 марта 1998 г.

Представлено постоянно действующим международным программным комитетом конференции по информационным технологиям Харьковского государственного политехнического университета (Украина), Мияшпольского университета (Венгрия), Магдебургского университета (Германия), Петрошанского университета (Румыния)

Программный комитет: Львов Г.И., Патко Д. (сопредседатели), Грабченко А.И. (зам. председателя), Баженов В.Г., Белов В.К., Бондаренко В.Е., Гудаленко Ю.Г., Загребельный В.Н., Илиаш Н., Ковач Ф., Космачев С.М., Лиерат Ф., Наний В.В., Некрасов А.П., Новгородцев В.А., Пелих В.Ф., Перерва П.Г., Писляков В.И., Рыщенко М.И., Тарасенко Н.А., Товажнянский Л.Л., Хорват М., Челени Й., Чернышев И.С.

Харьковский государственный политехнический университет,
310002, Харьков-2, Фрунзе, 21

Труды воспроизведены непосредственно с авторских оригиналов

ISBN 966-593-033-8

©Харьковский государственный
политехнический университет,
1998

ТЕПЛООБМЕН ПРИ МЕДЛЕННОМ ДИФFUЗОРНОМ ТЕЧЕНИИ В КОЛЬЦЕВЫХ КОНИЧЕСКИХ КАНАЛАХ ПЕРЕМЕННОЙ ШИРИНЫ

Л. М. Ульев, Харьков, Украина

The numerically-analytical solution has been presented for convective heat transfer problem with the slow flow in a coaxial conic channels of a variable width.

В работах [1-3] автором исследованы медленные течения в коаксиальных конических каналах. В [4] поставлена и решена задача теплообмена при медленных диффузорных течениях в коаксиальных конических каналах постоянной ширины. В биконических координатах [4] распределение температуры для диффузорного течения будет определяться уравнениями:

$$\frac{6Pe(2\xi_0 \sin \alpha - \cos \alpha)}{\cos \alpha - 2\xi_0 \sin \alpha} (\chi^2 - \chi) \frac{\partial \Theta}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \chi^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \chi} = Bi_1 (\Theta - \Theta_1), \quad \chi = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \chi} = -Bi_2 (\Theta - \Theta_2), \quad \chi = 1, \quad (3)$$

$$\Theta = 0, \quad \xi = \xi_0. \quad (4)$$

где $Bi = \frac{K h}{\lambda}$ - число Био, K - местный коэффициент теплопередачи [5],

$$Pe = \frac{V_0 h}{a}, \quad \Theta = \frac{T - T_0}{T_0}, \quad \xi = R/h, \quad \chi = X/h, \quad V_0 = Q/S_0, \quad v = V_R/V_0, \quad S_0 = \pi(2R_0 \sin \alpha - h \cos \alpha).$$

Полученное решение имеет вид:

$$\Theta(\xi, \chi) = -\Phi(\xi_0, \chi) + \left\langle \sum_{n=0}^{\infty} A'_n \exp \left\{ \frac{8\mu_n^2 (\xi - \xi_0) \cos \alpha - (\xi + \xi_0) \sin \alpha}{3Pe(2\xi_0 \sin \alpha - \cos \alpha)} \cdot \frac{\mu_n (2\chi - 1)^2}{2} \right\} \times \right. \\ \left. \times \left[\sqrt{\mu_n} (2\chi - 1) {}_1F_1 \left[\frac{3 - \mu_n}{4}, \frac{3}{2}, \mu_n (2\chi - 1)^2 \right] + B_n {}_1F_1 \left[\frac{1 - \mu_n}{4}, \frac{1}{2}, \mu_n (2\chi - 1)^2 \right] \right] \right\rangle, \quad (5)$$

где ${}_1F_1(\alpha, s; x)$ - вырожденная гипергеометрическая функция,

$$\Phi(\xi_0, \chi) = \frac{Bi_1 Bi_2 (\Theta_2 - \Theta_1)}{Bi_1 (Bi_2 + 1) + Bi_2} \chi - \frac{Bi_1 (Bi_2 + 1) \Theta_1 + Bi_2 \Theta_2}{Bi_1 (Bi_2 + 1) + Bi_2}, \quad \mu_n - \text{собственные числа за-}$$

дачи (1)-(4) и коэффициенты A'_n и B_n определены в [4].

Приведенное выше решение можно использовать для исследования теплообмена при диффузорном течении в кольцевых каналах между коническими поверхностями с непараллельными образующими. Такие каналы при проектировании полимерного оборудования используются чаще, чем каналы постоянной ширины. В [3] автор предложил рассчитывать перепад давления в каналах, образованных концентрическими коническими поверхностями, вершины которых находятся с одной стороны от рассматриваемого канала, с помощью ступенчатой аппроксимации таких каналов кольцевыми коническими каналами постоянной ширины.

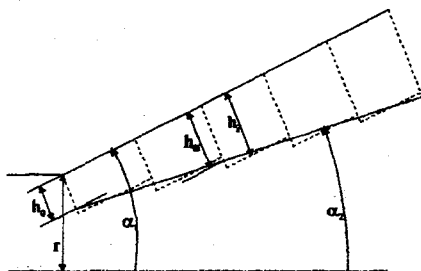


Рис. 1. Ступенчатая аппроксимация конического канала переменной ширины с помощью кольцевых конических каналов постоянной ширины

К, $T_1=293$ К, $T_2=280$ К. Коэффициенты теплопередачи $K'_1=133.3$ Вт/м²К, $K'_2=266.6$ Вт/м²К или $Bi_1=20$, $Bi_2=40$, которые вычислены по значению h_0 .

Представим внутреннюю коническую поверхность состоящей из N конических поверхностей, образующая каждой из которых параллельна образующей внешней поверхности и равна L/N . В результате получим канал, составленный из N коаксиальных конических каналов постоянной ширины. Поскольку определяющим фактором теплообмена в рассматриваемых случаях является конвективный теплоперенос, критерий Стантона $St=K'/\rho c V_0 \leq 10^{-2}$, значение ширины для каждого канала будем выбирать так, чтобы средние по длине аппроксимирующего и оригинального участка канала скорости жидкости были равны. Это достигается из условия равенства средних по длине канала площадей поперечного сечения аппроксимирующего и оригинального участка. Средняя площадь поперечного сечения для коаксиального

Воспользуемся этим методом для исследования теплообмена в канале, образованном круглыми коническими поверхностями с углами раскрытия $2\alpha_1 = 42^\circ$, $2\alpha_2 = 30^\circ$ и геометрическими размерами $h_0=0.03$ м, $R_0=0.279$ м, $L=0.6$ м. Параметр γ (рис. 1), расход жидкости, ее свойства и температуры остаются прежними [4], т.е. $Q \approx 0,56 \times 10^{-4}$ м³/с, $T_0=463$

конического канала постоянной ширины и длиной $\Delta L = L/N$ определяться как:

$$S_0 = \frac{\pi}{\Delta L} \int_{R_0}^{R_0 + \Delta L} h(2R \sin \alpha - h \cos \alpha) dR = \pi \left[h \left(2R_0 + \frac{L}{N} \right) \sin \alpha - h^2 \cos \alpha \right]. \quad (6)$$

Средняя площадь канала, образованного коническими поверхностями с углами раскрытия $2\alpha_1$ и $2\alpha_2$, определяться как:

$$S_1 = \frac{\pi}{\Delta L} \int_{R_0}^{R_0 + \Delta L} [2Rh(R) \sin \alpha - h^2(R) \cos \alpha] dR = \pi \left\{ \left(2R_0 + \frac{L}{N} \right) (h_0 - R_0 \operatorname{tg} \beta) (\sin \alpha_1 - \cos \alpha_1 \operatorname{tg} \beta) + \left[R_0^2 + \frac{L}{N} R_0 + \frac{1}{3} \left(\frac{L}{N} \right)^2 \right] (2 \sin \alpha_1 - \cos \alpha_1 \operatorname{tg} \beta) \operatorname{tg} \beta - (h_0 - R_0 \operatorname{tg} \beta)^2 \cos \alpha_1 \right\}, \quad (7)$$

где $h(R) = h_0 + (R - R_0) \operatorname{tg} \beta$, $\beta = \alpha_1, -\alpha_2$, h_0 - ширина входа в канал (рис. 1).

Ширина $i^{\text{го}}$ аппроксимирующего канала определяться из (6) и (7) как:

$$h_i = \frac{(2R_i + \frac{L}{N}) \operatorname{tg} \alpha_1}{2} \left\{ \frac{(2R_i + \frac{L}{N})^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_1}{4} (2R_i + \frac{L}{N}) (h_{0i} - R_i \operatorname{tg} \beta) (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \beta) - \left[R_i^2 + R_i \frac{L}{N} + \frac{1}{3} \left(\frac{L}{N} \right)^2 \right] (2 \operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \beta) \operatorname{tg} \beta + (h_{0i} - R_i \operatorname{tg} \beta)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

где $R_i = R_0 + \frac{L}{N}(i-1)$, $h_{0i} = h_0 + \frac{L}{N}(i-1) \operatorname{tg} \beta$.

Когда определяющим фактором теплообмена будут тепловые потоки на границах аппроксимацию необходимо выбирать так, чтобы теплообменная поверхность оставалась постоянной, и тогда h_i определяться соотношением

$$h_i = h_{0i} + \frac{L}{N} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2). \quad (9)$$

Проверка показывает, что при $N \rightarrow \infty$ в (8) и (9), $h_i \rightarrow h_{0i}$.

Для того, чтобы использовать решение (5), обезразмеривание на каждом $i^{\text{м}}$ участке канала необходимо проводить по своему значению h_i . При определении распределения температуры в первом элементе канала начальное распределение температуры будем задавать однородным и равным 0, т.е. выполняется условие (4). В каждом из последующих каналов температуру на входе будем задавать функцией, аппроксимирующей распределение температуры на выходе из предыдущего канала.

В рассматриваемом случае, также как и при увеличении угла раскрытия конусов для канала постоянной ширины, скорость жидкости уменьшается вдоль канала быстрее, чем при $\alpha_1 = \alpha_2 = 15^\circ$ [4], за счёт увеличения площади поперечного сечения канала. Отношение площади сечения выхода к площади сечения входа для канала с $\alpha_1 = \alpha_2 = 15^\circ$ составляет ≈ 2.8 , для канала с $\alpha_1 = 21^\circ, \alpha_2 = 15^\circ \approx 9.8$. Это приводит к снижению интенсивности теплообмена. Вместе с тем, в данном случае увеличивается ширина канала и уменьшается площадь поверхности теплообмена, поэтому, несмотря на увеличение времени пребывания жидкости в канале, центральная часть потока охлаждается медленнее (рис. 2), чем в варианте, показанном на рис. 4а [4] (между областями определения Θ на рис. 2 и рис. 4а [4] существует изоморфное соответствие, задаваемое преобразованием координат $\xi' = \xi, \chi' = \chi / [1 + (\xi - \xi_0) \tan \beta]$), и в итоге изменения в средней температуре меньше (рис. 3).

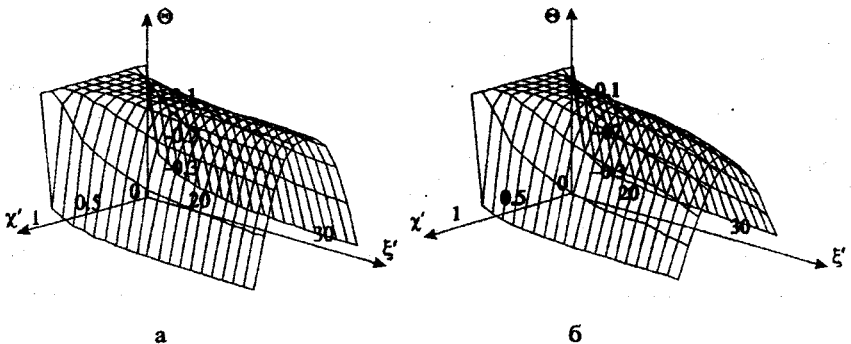


Рис. 2. Распределение безразмерной температуры в канале переменной ширины для течения при: а) $\alpha_1 = 21^\circ, \alpha_2 = 15^\circ$; б) $\alpha_1 = 21^\circ, \alpha_2 = 32^\circ$.

Если коэффициент теплопередачи K' существенно изменяется вдоль течения, то учесть его изменение можно, считая K' постоянным на протяжении аппроксимирующего участка и равным его среднему значению на длине этого участка.

Рассмотрим течение в канале, образованном коническими поверхностями с углами раскрытия $2\alpha_1 = 42^\circ, 2\alpha_2 = 46^\circ$, а коэффициенты теплопередачи на границе изменяются по зависимостям $K'_1 = 4 / [h_0 - (R - R_0) \tan \beta], K'_2 = 2K'_1$. В та-

ком канале средняя скорость жидкости почти не изменяется при её течении вдоль канала, т.к. отношение площади поперечного сечения входа в канал к площади выхода ≈ 1 , и, следовательно, скорость жидкости в этом случае выше, чем в ранее рассмотренных. Кроме того уменьшается ширина канала и увеличивается поверхность теплообмена и коэффициенты теплопередачи, что приводит к большему охлаждению жидкости по всему поперечному сечению канала (рис. 2) и средней температуры также (рис. 3).

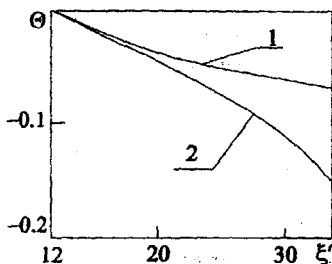


Рис. 3. Распределение средних безразмерных температур вдоль течения. 1- для течения в канале с $\alpha_1 = 21^\circ$, $\alpha_2 = 15^\circ$; 2- $\alpha_1 = 21^\circ$, $\alpha_2 = 23^\circ$.

Обозначения: $c = 2000$ Дж/кгК- удельная теплоемкость; h - ширина канала, м; K' - коэффициент теплопередачи, Вт/м²К; L - длина образующей конической поверхности канала, м; Q -объемный расход, м³/с; q - тепловой поток, Вт/м²; R - радиальная биконическая координата, м; S - площадь поперечного сечения канала, м²; T - температура, К; V - скорость, м/с; X - поперечная биконическая координата, м; α - половина угла раскрытия конуса, рад; γ - постоянная деления; $\lambda = 0.2$ Вт/мК- коэффициент теплопроводности; $\rho = 2500$ кг/м³- плотность; $Re = \frac{V_0 h \rho}{\lambda}$ - число Пекле.

Список литературы: 1. Ульев Л.М. Медленные течения между соосными коническими поверхностями. I. Конусы с общей вершиной // International Meeting on Information Technology. KHARKOV. 12-14 May 1997. Vol. 4. Kharkov. 1997. P. 438-440. 2. Ульев Л.М. Медленные течения между соосными коническими поверхностями. II. Конусы не имеющие общей вершины // Там же. С. 441-443. 3. Ульев Л.М. Медленные течения в коаксиальных конических каналах // Вестник ХГПУ. - 1997. - Часть 2. Механика. Машиностроение. Выпуск 7. - С. 22-31. 4. Ульев Л.М., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Теплообмен при ламинарном течении между коаксиальными эквидистантными коническими поверхностями. Диффузорное течение // Вестник ХГПУ. - 1998. - Выпуск 10. - С. 3-12. 5. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. - М.: Энергия, 1967. - С. 412.

Представлен докт. техн. наук, проф. ТОВАЖНЯНСКИМ Л.Л.