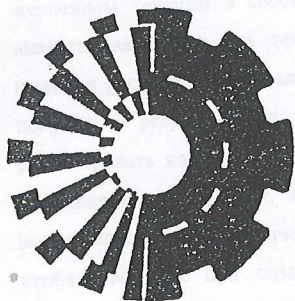


МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ISSN 0453-7998

ISSN 0234-5110

ВЕСТНИК



Харьковского
Государственного
Политехнического
Университета

Выпуск 98

ХГПУ 2000

Л.М. Ульев, Харьков, Украина

ДЛИНА УЧАСТКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРИ ЛАМИНАРНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ В СООСНЫХ КОНИЧЕСКИХ КАНАЛАХ ПОСТОЯННОЙ ШИРИНЫ

The expression for calculation of channel thermal initial length was defined allowing for its dependencies from base problem parameters both with the diffuser and the confuser flows.

В работах [1,2] автором решена задача конвективного теплообмена при медленном течении в соосных конических диффузорах, в работе [3] рассмотрена аналогичная задача для течения в конфузоре. Оценка параметров, определяющих решения рассмотренных задач, выполненная в работах [1-3], позволяет использовать полученные результаты для любых высоковязких жидкостей, течения которых можно рассматривать как ползущие течения ньютоновских жидкостей [4]. Числа Пекле для высоковязких жидкостей, как правило, имеют значения $Pe > 100$, что говорит о значительной длине термического начального участка, определение величины которого необходимо как при создании, так и при выборе методов расчета течения и теплообмена высоковязких жидкостей в проточных каналах различных машин и аппаратов их переработки [5, 6].

Постановка и решение задач в работах [1-4] приведены в биконических координатах, однозначно связанных с геометрией канала (рис. 1). В данной работе мы будем определять длину начального теплового участка $l_{н.т.}$ также вдоль биконической координаты R [4] как расстояние от входного сечения канала, на котором числа Нуссельта Nu_1 и Nu_2 с точностью 1 % принимают постоянное значение.

Значения чисел Нуссельта на границах канала будем определять с помощью соотношений [1]:

$$Nu_1 = \frac{\alpha_1 h}{\lambda} = \frac{\partial \Theta}{\partial \chi} \Big|_{\chi=0}, \quad Nu_2 = \frac{\alpha_2 h}{\lambda} = - \frac{\partial \Theta}{\partial \chi} \Big|_{\chi=1}, \quad (1)$$

где $\Theta = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$, $\chi = \frac{X}{h}$, $\bar{\Theta}$ – среднemasсовая безразмерная температура потока жидкости.

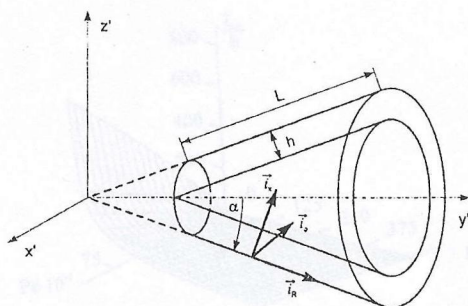


Рис. 1. Геометрия конического зазора постоянной ширины, L - длина конической части канала, m ; h - ширина зазора, m ; i_R, i_x, i_ϕ - орты в биконической системе координат

Решения приведенные в [1-3], показали, что наименьшей длиной обладает термический начальный участок при симметричных граничных условиях $\Theta_1 = \Theta_2$, т.е. $Nu = Nu_1 = Nu_2$, и однородном распределении температуры жидкости на входе в канал. Выражения для вычисления числа Nu даны в работах [1-3] в зависимости от параметров, определяющих теплообмен в соосном коническом канале: $Pe = \frac{Q}{\lambda h \alpha}$ - числа

Пекле, 2α - угла раскрытия образующих конусов и безразмерной координаты входа в канал ξ_0 - для диффузора [1], ξ_1 - для конфузора.

В работах [1,3] показано, что предельные значения чисел Нуссельта при теплообмене с симметричными граничными условиями для температур равны $Nu_\infty = 3.77035$ как для диффузорного, так и для конфузорного течения. Выполнив статистическую обработку результатов, полученных при численных экспериментах, мы определили выражения для оценки длины термического начального участка при ламинарном течении в соосном диффузоре:

$$l_{н.т.} = (\xi_{н.т.} - \xi_0)h \approx 0.01h(\xi_0)^{\frac{1}{2}} \left(-3Pe^{-0.054} + 1,6 \cdot 10^{-1} \frac{Pe^{0.95}}{\sin \alpha} - 4 \cdot 10^{-9} \frac{Pe^{1.94}}{\sin^2 \alpha} \right). \quad (2)$$

С помощью (52) можно с приемлемой точностью вычислить $l_{н.т.}$ в следующих пределах изменения параметров задачи: $3 \leq \xi_0 \leq 500$; $100 \leq Pe \leq 10^6$; $3^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ и при этом всегда должно выполняться условие $\xi_0 \tan \alpha > 1$ [4].

С увеличением числа Pe увеличивается и длина термического начального участка (рис. 2), что связано, как и при течении в прямолинейном канале, с ростом конвективной составляющей теплопереноса. Увеличение параметра ξ_0 приводит к сокращению термического начального участка при фиксированных значениях Pe и α (рис. 2). Это происходит потому, что при увеличении ξ_0 увеличивается площадь поперечного сечения канала, а вследствие этого уменьшается локальное значение числа Пекле

$Pe_{\xi} = Pe / (2\xi \sin \alpha - \cos \alpha)$. Увеличение угла раскрытия 2α по той же причине приводит к уменьшению $l_{н.т.}$ (рис. 3).

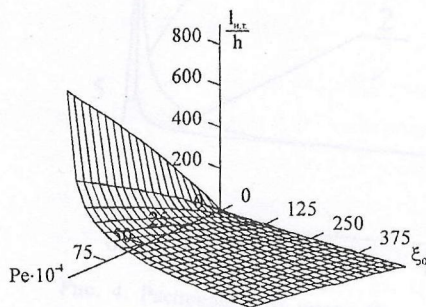


Рис. 2. Зависимость длины термического начального участка от числа Пекле и параметра ξ_0 для $\alpha = 15^\circ$.

Аналогичным способом получено выражение для оценки длины термического начального участка при конфузормом течении и теплообмене в конической щели постоянной ширины:

$$l_{н.т.} = (\xi_{н.т.} - \xi_0) h \approx 0.06hPe_0^{1.04}, \quad (3)$$

где $Pe_0 = Pe / (2\xi_1 \sin \alpha - \cos \alpha)$, $3^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, $25 \leq \xi_1 \leq 500$, $10^2 \leq Pe \leq 10^6$ и $\xi_0 \tan \alpha > 1$.

Характер зависимости $l_{н.т.}$ от определяющих параметров при конфузормом течении несколько отличается от характера зависимости для диффузормого течения. В обо-

их случаях зависимость $l_{н.т.}(Pe)$ нелинейная, но для диффузормого течения $\frac{\partial^2 l_{н.т.}}{\partial Pe^2} < 0$, а

для конфузормого течения $\frac{\partial^2 l_{н.т.}}{\partial Pe^2} > 0$. Это объясняется тем, что в случае диффузормого

течения с увеличением числа Pe термический начальный участок распространяется в направлении уменьшения средней скорости течения, из-за чего и происходит уменьшение приращений $l_{н.т.}$ при равных приращениях числа Pe . При конфузормом течении тепловой начальный участок распространяется в сторону повышения средней скорости жидкости при увеличении Pe , что и приводит к увеличению его приращения при равных приращениях Pe .

Сравнение чисел Нуссельта для конфузормого и диффузормого течения в одном и том же канале и при одинаковых числах Пекле показывает, что числа Nu при

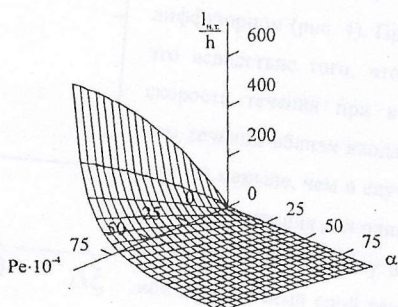


Рис. 3. Зависимость длины термического начального участка от числа Пекле и параметра α для $\xi_0 = 100$

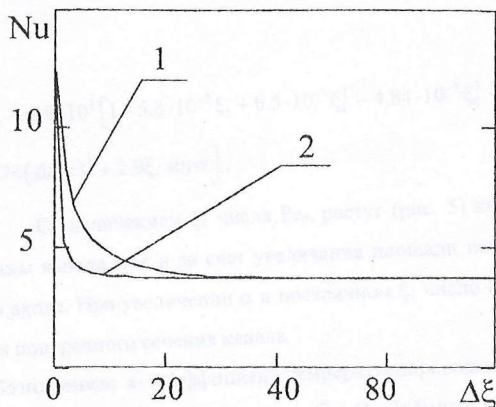


Рис. 4. Распределение чисел Нуссельта Nu вдоль течения. 1 – для конфузорного течения; 2 – для диффузорного. $\Delta\xi$ – расстояние от входа в канал

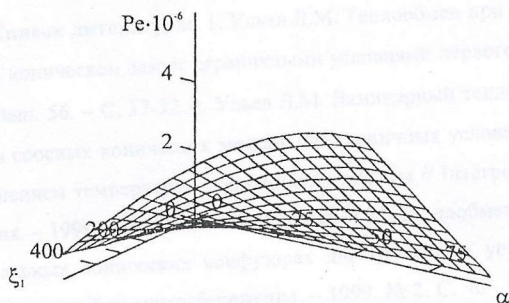


Рис. 5. Зависимость максимального значения числа Пекле Pe , при котором в конфузоре может быть достигнут режим установившегося теплообмена от параметров ξ_1 и α

теплообмена, то при конфузорном течении существует значение числа Pe , при превышении которого числа Nu не могут достичь своего значения Nu_{∞} в пределах канала.

С помощью статистической обработки результатов численных экспериментов получено выражение для оценки максимальных чисел Pe , при которых еще возможно достижение режима установившегося теплообмена в пределах канала:

конфузорном течении достигают своего предельного значения на меньшем расстоянии, чем при диффузорном (рис. 4). Происходит это вследствие того, что средняя скорость течения при конфузорном течении вблизи входа в канал (рис. 1) меньше, чем в случае диффузорного течения для одних и тех же значений Re , поэтому и тепловой пограничный слой развивается на более коротком расстоянии от входа. Если положить $\xi_0 = \xi_1$, то, очевидно, в этом случае $I_{н.т.}$ для диффузорного течения будет короче, чем для конфузорного.

При конфузорном течении начальный тепловой участок с увеличением Re распространяется не только в сторону увеличения скорости, но и в направлении расположения вершин конических поверхностей, образующих канал. Поэтому, если для диффузорного течения практически для любых чисел Re может существовать длина, на которой достигается область установившегося теплообмена,

$$Pe_m \approx 3.9 \cdot 10^3 \left[1 - 5.8 \cdot 10^{-2} \xi_1 + 6.5 \cdot 10^{-4} \xi_1^2 - 4.84 \cdot 10^{-7} \xi_1^3 - 5.95 \sin \alpha + 6.76 (\sin \alpha)^2 - 3.74 (\sin \alpha)^3 + 2.9 \xi_1 \sin \alpha \right]. \quad (4)$$

С увеличением ξ_1 числа Pe_m растут (рис. 5) как за счет увеличения возможной длины канала, так и за счет увеличения площади поперечного сечения канала вблизи его входа. При увеличении α и постоянном ξ_1 число Pe_m растет только за счет увеличения поперечного сечения канала.

Обозначения: а - коэффициент температуропроводности, м²/с h - ширина канала, м; P, P₀ - давление текущее и на входе, Па; Q - объёмный расход, м³/с; R - координата радиальная, м; T, T₀ - температура текущая и на входе в канал, К; T₁, T₂ - температура границы, образованной внешним и внутренним конусом, К x', y', z' - декартовы координаты, м; α - половина угла раскрытия конуса, рад; λ - теплопроводность жидкости, Вт/(м·К); ρ - плотность, кг/м³; X - поперечная биконическая координата, м; $Pe = \frac{Vh\rho c}{\lambda}$ - число Пекле.

Список литературы: 1. Ульев Л.М. Теплообмен при медленном диффузорном течении в коническом зазоре с граничными условиями первого рода // Вестник ХГПУ. – 1999. – Вып. 56. – С. 37-52. 2. Ульев Л.М. Ламинарный теплообмен при диффузорном течении в соосных конических зазорах для граничных условий первого рода с линейным изменением температуры стенок вдоль течения // Інтегровані технології та енергосбереження. – 1999. № 4. С. 45 – 59. 3. Ульев Л.М. Теплообмен при медленном течении в коаксиальных конических конфузорах для граничных условий первого рода // Інтегровані технології та енергосбереження. – 1999. № 2. С. 40 - 52. 4. Ульев Л.М. Медленные течения между соосными коническими поверхностями // ИФЖ. 1998. Т. 71, №. 6. С. 1092-1098. 5. Ульев Л.М. Неизотермическое течение расплавов термопластичных полимеров в коническо-цилиндрических фильерах // ТОХТ. 1996. Т. 30, №. 6. С. 583- 590. 6. Ульев Л.М. Напорно-расходная характеристика круглых формующих каналов при неизотермическом течении расплавов термопластичных полимеров // ИФЖ. 1996. Т. 69. № 4. С. 606-614.

E – mail: ulm@kpi.kharkov.ua

Поступила в редколлегию 15.03.2000