



ВЕСТНИК

**НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
«ХПИ»**

17' 2003

Харьков

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА “ХПИ”

*Сборник научных трудов
Тематический выпуск “Химия,
Химическая технология и экология”*

17 '2003

Издание основано Национальным техническим университетом “ХПИ”
в 2001 году

Государственное издание
Свидетельство Госкомитета по
информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р. техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук.

А.П. МАРЧЕНКО, д-р. техн. наук, проф.

Е.И. СОКОЛ, д-р. техн. наук, проф.

Е.Е. АЛЕКСАНДРОВ, д-р. техн. наук, проф.

Т.С. ВОРОПАЙ, д-р. фил. наук, проф.

М.Д. ГОДЛЕВСКИЙ, д-р. техн. наук, проф.

А.И. ГРАБЧЕНКО, д-р. техн. наук, проф.

В.Г. ДАНЬКО, д-р. техн. наук, проф.

П.А. КАЧАНОВ, д-р. техн. наук, проф.

В.Б. КЛЕЛИКОВ, д-р. техн. наук, проф.

В.А. ЛОЗОВОЙ, д-р. фил. наук, проф.

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р. техн. наук, проф.

О.К. МОРАЧКОВСКИЙ, д-р. техн. наук, проф.

М.И. РЫШЕНКО, д-р. техн. наук, проф.

В.Б. САМОРОДОВ, д-р. техн. наук, проф.

В.П. СЕБКО, д-р. техн. наук, проф.

В.И. ТАРАН, д-р. техн. наук, проф.

Ю.В. ТИМОФЕЕВ, д-р. техн. наук, проф.

А.Ф. ШЕХОВЦОВ, д-р. техн. наук, проф.

П.Г. ПЕРЕРВА, д-р. техн. наук, проф.

Н.И. ПОГОРЕЛОВ, д-р. техн. наук, проф.

А.Ф. СЛИТЕНКО, д-р. техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Рыщенко М.И., д-р. техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

Шабанова Г.Н., канд. техн. наук, с.н.с.

Авраменко В.Л., канд. техн. наук, проф.

Байрачный Б.И., д-р. техн. наук, проф.

Брагина Л.Л., д-р. техн. наук, проф.

Гладкий Ф.Ф., д-р. техн. наук, проф.

Горбачев А.К., д-р. техн. наук, проф.

Гринь Г.И., д-р. техн. наук, проф.

Демидов И.Н., д-р. техн. наук, проф.

Каратеев А.М., д-р. хим. наук, проф.

Клещев Н.Ф., д-р. техн. наук, проф.

Лобойко А.Я., д-р. техн. наук, проф.

Мельник А.П., д-р. техн. наук, проф.

Савенков А.С., д-р. техн. наук, проф.

Семченко Г.Д., д-р. техн. наук, проф.

Слободской С.А., д-р. техн. наук, проф.

Сытник Р.Д., д-р. техн. наук, проф.

Товажнянский Л.Л., д-р. техн. наук, проф.

Тошинский В.И., д-р. техн. наук, проф.

Шапорев В.П., д-р. техн. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21
Кафедра керамики НТУ “ХПИ”
Тел. (0572) 40 – 00 – 51

Л.М. УЛЬЕВ, канд. техн. наук

ЛАМИНАРНОЕ ДИФFUЗОРНОЕ ТЕЧЕНИЕ В СООСНОМ КОНИЧЕСКОМ КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОЙ ШИРИНЫ С ЧАСТИЧНЫМ УЧЕТОМ СИЛ ИНЕРЦИИ

У роботі одержано рішення задачі ламінарної дифузорної течії рідини в співвісному конічному каналі змінної ширини з частковим урахуванням інерційних властивостей. До розрахунку приймається тільки середня інерційна сила, яка виникає внаслідок зміни середньої швидкості при зміні площі попереднього перерізу каналу вздовж течії. Одержані аналітичні вирази для розрахунку перепаду тиску при таких течіях.

Solution of laminar diffuser flow in a coaxial conic channel with variable width and with partial taking into account of inertial forces is received in this paper. The solution takes into account only average inertial force appearing owing to average velocity change along the flow dew to its cross-section area change. The analytical expressions for pressure drop and velocity distribution in the channel calculation are received.

Введение

Изучение ламинарных течений в каналах различной геометрии является одной из фундаментальных задач гидродинамики, так как на его основе проводится исследование ряда других проблем, возникающих при создании устройств и аппаратов в различных отраслях промышленности. Например, при проектировании оборудования для синтеза и переработки полимеров появляется необходимость расчета течения расплавов полимеров в коаксиальных конических каналах, которые являются неотъемлемой частью распределительных устройств экструзионных головок для производства труб, шлангов, пленок, кабелей и т.д. [1, 2].

В работах [3, 4] автором решены задачи медленного диффузорного течения в соосном канале, образованном коническими поверхностями с общей вершиной и в соосном коническом канале постоянной ширины. В работе [5] исследовалось ползущее медленное диффузорное течение в соосных конических каналах переменной ширины в случае, когда границы не имеют общей вершины.

Однако течение в конических каналах имеет существенную особенность, а именно, изменение средней скорости жидкости вдоль течения вследствие изменения площади поперечного сечения канала. Поэтому инерционная сила, действующая на жидкость, будет отлична от нуля практически вдоль всей длины канала.

Анализ ламинарного диффузорного течения с частичным учетом инерционного члена в уравнениях движения при течении в соосном канале,

образованном коническими поверхностями с общей вершиной сделан, автором в работе [6]. Аналогичная задача для соосного конического канала постоянной ширины решена в [7]. Рассмотренные в этих работах геометрии каналов являются лишь частным случаем конструкций каналов, использующихся на практике, и поэтому в данной работе мы исследуем наиболее общую конструкцию.

Определим влияние инерционных свойств течения на перепад давления в соосном коническом диффузоре с линейно изменяющейся шириной вдоль течения, образованном поверхностями, не имеющими общей вершины, и получим выражения необходимые для этого учета.

Математическая постановка задачи и ее решение

Рассматривать течение в соосном коническом канале будем так же, как и в работах [3-5, 7], в биконических координатах (рис. 1), определяемых преобразованием [8]:

$$z = R \cos \alpha + X \sin \alpha, \quad (1)$$

$$y = (R \sin \alpha - X \cos \alpha) \sin \varphi = \Omega \sin \varphi, \quad (2)$$

$$x = (R \sin \alpha - X \cos \alpha) \cos \varphi = \Omega \cos \varphi. \quad (3)$$

В работе [9] автором показано, что, когда выполняется условие $R \geq 2.22 h_0 \operatorname{ctg} \alpha$, которое справедливо для большинства практически важных случаев, влиянием различия в кривизне граничных поверхностей в уравнениях гидродинамики можно пренебречь, а оценки величины членов в системе уравнений движения, записанных в приближении Озеена, выполненные в [10], позволяют привести эту систему к одному уравнению, которое в безразмерных величинах:

$$\xi = \frac{R}{h_0}, \chi = \frac{X}{h_0}, V_0 = \frac{Q}{\pi h_0^2 (2\xi_0 \sin \alpha - \cos \alpha)}, v = \frac{V}{V_0}, \Pi = \frac{(P - P_0) h_0}{\mu V_0}, \quad (4)$$

запишется в виде:

$$\operatorname{Re} \bar{v} \frac{\partial v}{\partial \xi} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \xi} + \frac{\partial^2 v}{\partial \chi^2}, \quad (5)$$

где $\operatorname{Re} = \frac{\rho h_0 V_0}{\mu}$ – число Рейнольдса на входе в канал; \bar{v} – безразмерная средняя по поперечному сечению канала скорость жидкости, определяемая как $\bar{v} = \frac{Q}{V_0 S}$, а изменение площади поперечного сечения вдоль канала определится выражением:

$$S(\xi) = \pi h_0^2 [1 + b(\xi - \xi_0)] \{2\xi \sin \alpha - [1 + b(\xi - \xi_0)] \cos \alpha\}, \quad (6)$$

и тогда получим [5]:

$$\bar{v} = \frac{2\xi_0 \sin \alpha - \cos \alpha}{[1 + b(\xi - \xi_0)] \{2\xi \sin \alpha - [1 + b(\xi - \xi_0)] \cos \alpha\}}, \quad (7)$$

где $1 + b(\xi - \xi_0)$ – изменение безразмерной ширины канала вдоль течения, а параметр b является тангенсом разности полууглов раскрытия внешней и внутренней поверхностей канала (рис. 2), т.е. $b = \operatorname{tg}(\alpha - \alpha_1)$, и, следовательно, из геометрических соображений он должен удовлетворять условию

$b > \frac{1}{\xi_0 - \xi_1}$. В данном исследовании будем рассматривать каналы, для

которых величина b не превосходит значения $\operatorname{tg} \alpha$, т.е. $b_{\max} \leq \operatorname{tg} \alpha$. Это означает, что диффузоры внешней и внутренней границ канала раскрываются в одну сторону.

Заметим, что если определить безразмерную площадь поперечного сечения канала как $s = \frac{S}{S_0}$, где $S_0 = \pi h_0^2 (2\xi_0 \sin \alpha - \cos \alpha)$ – площадь поперечного сечения на входе в диффузор, то:

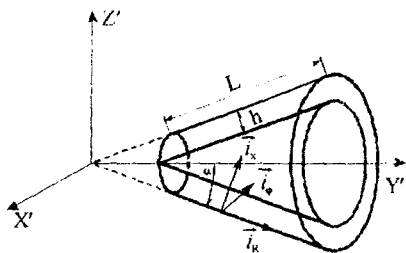


Рис. 1. Связь биконической системы координат с геометрией канала: L – длина конической части канала, m ; h – ширина зазора, m ; i_r, i_x, i_y – орты в биконической системе координат

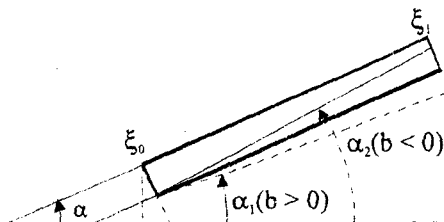


Рис. 2. Геометрия канала с изменяющейся шириной вдоль течения

$$\bar{v} = \frac{1}{s}. \quad (8)$$

Граничными условиями для (5) будут: условие прилипания на стенках канала и равенство нулю безразмерного давления на входе в канал:

$$v = 0, \quad \chi = 0, \quad (9)$$

$$v = 0, \chi = 1 + b(\xi - \xi_0), \quad (10)$$

$$\Pi = 0, \xi = \xi_0. \quad (11)$$

Уравнение неразрывности учтем в виде постоянства расхода жидкости через любое поперечное сечение канала:

$$\int_0^{1+b(\xi-\xi_0)} (\xi \sin \alpha - \chi \cos \alpha) v d\chi = \frac{1}{2} (2\xi_0 \sin \alpha - \cos \alpha). \quad (12)$$

При ламинарном течении жидкости в каналах с малыми и умеренными числами Рейнольдса длина начального гидродинамического участка, как правило, сравнима с шириной канала или меньше [11], поэтому далее будем считать профиль скорости сформировавшимся и учитывать только среднее значение инерционной силы, возникающей вследствие изменения площади поперечного сечения канала вдоль течения. Заметим, что развитие профиля скорости при ламинарном диффузорном течении в соосных конических каналах автором рассматривалось в работах [10, 12].

Далее подставим в производную левой части (5) выражение (7), после чего получим решение задачи (5), (9) – (12):

$$v = \frac{6(2\xi_0 - \operatorname{ctg}\alpha) \{ [1 + b(\xi - \xi_0)] \chi - \chi^2 \}}{2 [1 + b(\xi - \xi_0)]^3 \xi - [1 + b(\xi - \xi_0)]^4 \operatorname{ctg}\alpha}. \quad (13)$$

$$\Pi(\xi) = F_1(\xi) + F_2(\xi), \quad (14)$$

где выражение:

$$F_1(\xi) = \frac{6(2\xi_0 - \operatorname{ctg}\alpha)}{1 - b\xi_0} \left\{ \frac{(b \operatorname{ctg}\alpha - 2)^2}{4(1 - b\xi_0)^2} \ln \frac{(2\xi_0 - \operatorname{ctg}\alpha) h(\xi)}{2\xi - h(\xi) \operatorname{ctg}\alpha} + \frac{b(\xi - \xi_0)}{2h(\xi)} \left[\frac{2 - b \operatorname{ctg}\alpha}{1 - b\xi_0} + \frac{1 + h(\xi)}{h(\xi)} \right] \right\} \quad (15)$$

представляет диссипативную составляющую безразмерного давления, а выражение:

$$F_2(\xi) = \frac{\operatorname{Re}}{2} \left\{ 1 - \left[\frac{2\xi_0 - \operatorname{ctg}\alpha}{h(\xi) [\xi(2 - b \operatorname{ctg}\alpha) + (b\xi_0 - 1) \operatorname{ctg}\alpha]} \right]^2 \right\} \quad (16)$$

является инерционной составляющей безразмерного давления, $h(\xi) = 1 + b(\xi - \xi_0)$ – изменение безразмерной ширины канала вдоль течения.

Принимая во внимание соотношение (7), выражение для определения безразмерного градиента давления можно записать в виде:

$$\frac{d\Pi}{d\xi} = -12 \frac{\bar{v}}{h(\xi)^2} + \text{Re} \bar{v}^2 \left[\frac{b}{h(\xi)} + \frac{2 - b \text{ctg} \alpha}{2\xi - h(\xi) \text{ctg} \alpha} \right]. \quad (17)$$

Первый член в сумме (17) представляет диссипативную составляющую безразмерного градиента давления, а второй – инерционную или динамическую его часть.

Если мы в выражениях (13), (16) и (17) положим $b = 0$, то получим решение задачи ламинарного диффузорного течения с частичным учетом инерционных сил в соосном коническом канале постоянной ширины [7].

Если же в (14), (17) положить $\text{Re} = 0$, то мы получим выражения, определяющие распределения безразмерного давления и его градиента при медленном диффузорном течении в соосном коническом канале с линейно меняющейся шириной [5].

$$\Pi_2(\xi) = F_1(\xi), \quad (18)$$

$$\frac{d\Pi_2}{d\xi} = -12 \frac{\bar{v}}{h(\xi)^2}, \quad (19)$$

Анализ различных случаев течения и обсуждение полученных результатов

Определяющими параметрами задачи (5), (9) – (12) являются: значения числа Re , координаты входа в канал ξ_0 , полуугла раскрытия внешней конической поверхности α и величины b , которая определяется величиной полуугла раскрытия внутренней конической поверхности α_1 при заданном значении α (рис. 2).

Рассмотрим влияние этих параметров на распределение безразмерных значений скорости, давления и его градиента в канале и сравним их между собой при различных значениях определяющих параметров. Сначала выберем параметры, определяющие течение, равными значениям: $\xi_0 = 10$, $\alpha = 15^\circ$, $\text{Re} = 5$, для которых рассмотрим каналы с полууглами раскрытия внутренней поверхности $\alpha_1 = 10^\circ$ и $\alpha_2 = 16^\circ$, что соответствует двум значениям b : $b_1 = 0.087$ и $b_2 = -0.017$. Безразмерную координату выхода из канала примем равной $\xi_1 = 40$.

Изменение безразмерной ширины канала вдоль течения и соответствующее распределение безразмерного поперечного сечения канала для указанных параметров приведено на рис. 3. Мы видим, что в каналах с постоянной и увеличивающейся шириной площадь поперечного сечения монотонно возрастает с ростом ξ , а в канале с $\alpha_2 = 16^\circ$, т.е. для $b = b_2$ (канал с уменьшающейся шириной вдоль течения), зависимость площади поперечного сечения от продольной координаты немонотонна.

Очевидно, что распределение безразмерных средних по поперечному сечению канала скоростей целиком будет соответствовать распределению безразмерных площадей поперечных сечений s вдоль канала, поскольку они

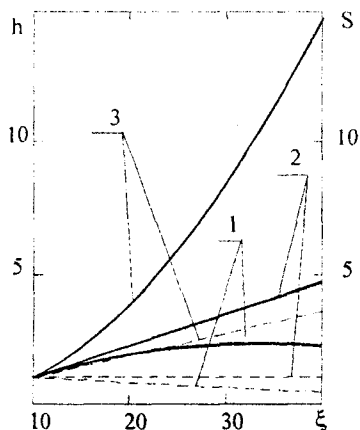


Рис. 3. Изменение вдоль течения безразмерной ширины канала: h – пунктирные линии к безразмерной площади поперечного сечения, S – сплошные линии в канале с размерами: $\xi_0 = 10, \xi_1 = 40, \alpha = 15^\circ$.
1 – $b = -0.0175$, 2 – $b = 0$, 3 – $b = 0.0875$

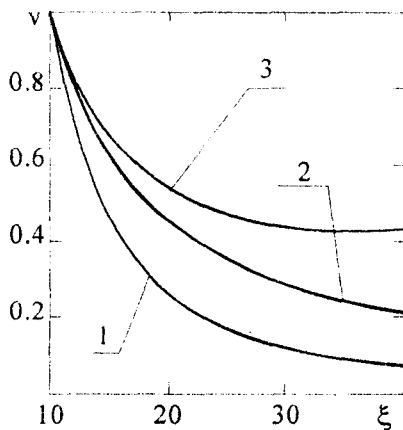


Рис. 4. Распределение средней безразмерной скорости при диффузном течении в соосном коническом канале с размерами: $\xi_0 = 10, \xi_1 = 40, \alpha = 15^\circ$; 1 – для $b = 0.0875$; 2 – $b = 0$; 3 – $b = -0.0175$

связаны соотношением $\bar{v} = \frac{1}{s}$.

А это означает, что в каналах с постоянной шириной ($b = 0$) и $\alpha_1 = 10^\circ$ ($b = b_1$) средняя по поперечному сечению канала скорость будет монотонно уменьшаться, а при течении в канале с уменьшающейся шириной будет иметь немонотонную зависимость от ξ (рис. 4). В начале канала средняя скорость будет уменьшаться, достигнет своего минимума и затем, при уменьшении площади поперечного сечения (b), начнет возрастать (рис. 4).

Мы рассмотрели особенности распределения средней безразмерной скорости. Изменение распределения скорости в поперечном сечении канала вдоль течения также будет определяться характером изменения площади поперечного сечения канала вдоль продольной координаты (рис. 5). Заметим, что между областями определения скорости на рис. 5 и продольным разрезом канала на рис. 2 при $b \neq 0$ существует изоморфное соответствие, определяемое преобразованием:

$$\xi' = \xi; \chi' = \frac{\chi}{[1 + b(\xi - \xi_0)]}, \quad (31)$$

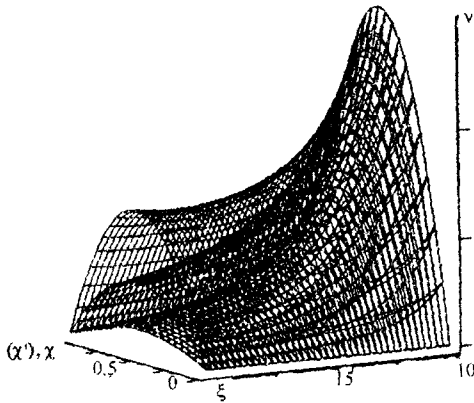


Рис. 5. Распределение безразмерной скорости при ламинарном диффузорном течении в соосном коническом канале с размером: $\xi_0 = 10$, $\xi_1 = 40$, $\alpha = 15^\circ$. Нижняя поверхность для $b = 0.0875$; средняя — для $b = 0$; верхняя — для $b = -0.017$ (координата χ' используется для течения в канале $b \neq 0$)

которое переводит трапецидальное, продольное сечение канала переменной ширины в координатах ξ, χ в прямоугольник в координатах ξ', χ' . Это

позволило распределения скорости в рассматриваемых случаях показать на одном графике

Здесь хорошо видно различие в распределении скорости поперек течения в канале с постоянной шириной и с изменяющейся шириной вдоль продольной координаты ξ .

Распределение давления вдоль канала также в значительной степени зависит от его геометрии. В канале с

увеличивающейся шириной безразмерный перепад давления значительно меньше по абсолютной величине, чем в канале постоянной ширины (рис. 6), что в данном случае связано со значительно меньшей скоростью жидкости в канале с увеличивающейся шириной (рис. 5). В канале с уменьшающейся шириной перепад давления значительно больше, чем в каналах с постоянной и увеличивающейся шириной. Это происходит вследствие большей скорости жидкости в этом канале (рис. 6а). Относительное отличие перепада давления, вычисленного с учетом инерционных свойств (14) и без такого учета (15) —

$$\epsilon = \frac{\Pi - F_1}{F_1} \text{ для канала с } b = b_2 \text{ не превышает } 5\%, \text{ а для } b = b_1 - 8\% \text{ на}$$

протяжении всего канала (рис. 6б). Некоторое различие в степени отклонения

связано с различной интенсивностью изменения поперечного сечения рассматриваемых каналов вдоль течения (рис. 3). Чем сильнее меняется величина площади поперечного сечения канала вдоль течения, тем сильнее меняется и средняя скорость, а, значит, значительно влияние инерционных сил (5).

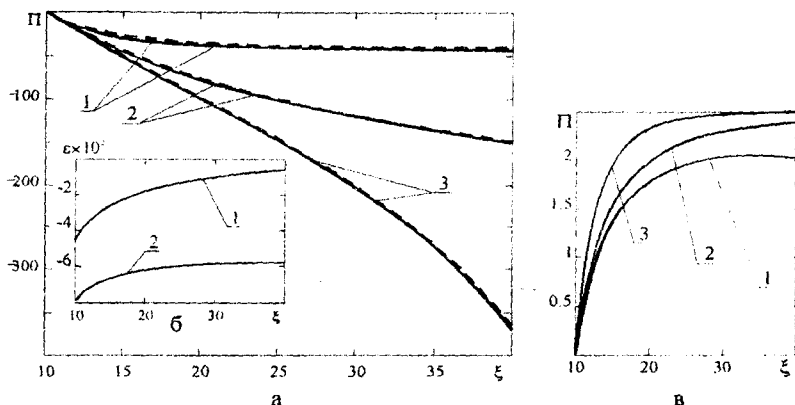


Рис. 7. Распределения вдоль диффузорного течения в соосном коническом канале с размерами $\xi_0 = 10$, $\xi_1 = 40$, $\alpha = 15^\circ$: а – безразмерного давления, рассчитанного без учета инерционных сил – сплошные линии, и с учетом инерционных сил, возникающих вследствие изменения сечения канала вдоль течения при $Re = 5$ – штриховые линии: 1 — в канале с линейно растущей шириной канала вдоль течения при $b = 0.0875$; 2 — в канале с постоянной шириной, т.е. $b = 0$; 3 – в канале с линейно уменьшающейся шириной $b = -0.0175$; б – относительного отклонения давления, рассчитанного с учетом инерционных сил при $Re = 5$ от давления, определенного без такого учета: 1 — в канале с $b = -0.0175$, 2 – $b = 0.0875$; в – динамической составляющей безразмерного давления при $Re = 0$: 1 – для канала с $b = -0.0175$, 2 – $b = 0$, 3 – $b = 0.0875$

Увеличение числа Рейнольдса приводит к более значительному влиянию инерционных сил на перепад давления. При числе $Re = 50$ относительные отличия между величинами (14) и (15) увеличиваются в пределах канала до 40 % и 80 % соответственно для $b = b_2$ и $b = b_1$.

Рост различия связан с тем, что при больших значениях Re более значительная часть кинетической энергии при уменьшении скорости течения переходит в энергию напряженного состояния за счет увеличения поперечного сечения канала, что в некоторой степени компенсирует падение давления за счет трения. Во всех рассматриваемых случаях изменение давления за счет инерционной силы наибольшее в начале канала, где скорость жидкости наибольшая, поэтому величина инерционной части градиентов давления (17), здесь наибольшая.

Далее вдоль течения инерционная часть градиента давления стремится к 0 вследствие уменьшения скорости. Заметим, что общий градиент давления

(17) как в случае течения при $b = b_1$, так и при $b = b_2$ – отрицателен, и жидкость течет в сторону уменьшения давления.

Увеличение числа Re до 150 качественно меняет распределение давления в канале.

Вблизи входа в канал, где скорость течения наибольшая, преобладают инерционные силы, поэтому градиент давления при любом из рассматриваемых значений b здесь положителен, и жидкость течет в сторону увеличения давления (рис. 7). В случае течения в канале с увеличивающейся шириной при $b = 0.087$ увеличение давления, обуславливаемое законом Бернулли, преобладает над потерей давления за счет трения на протяжении всего канала, но обе величины вследствие уменьшения средней скорости стремятся к нулю, и поэтому безразмерное давление, достигнув определенной величины, далее вдоль течения практически остается постоянным (рис. 7).

Заметим, из (14) следует, что в случае $b > 0$ максимальное изменение безразмерного давления, которое может быть достигнуто при $\xi \rightarrow \infty$, равно $\Pi(\infty) = Re/2$.

Значения чисел Рейнольдса, начиная с которых течение на входе в канал будет происходить в сторону увеличения давления, можно определить из условия:

$$\left. \frac{d\Pi}{d\xi} \right|_{\xi=\xi_0} = 0, \quad (21)$$

используя которое из (14), получим соотношение:

$$Re' = 6 \frac{2\xi_0 - \text{ctg}\alpha}{1 + b\xi_0(1 - \text{ctg}\alpha)}. \quad (22)$$

В нашем случае при $b = b_1$, $Re' = 63.04$, а при $b = b_2$ $Re' = 109.6$.

Заметим, если в (22) положить $\alpha = 90^\circ$, то получим соотношение, дающее величину числа Рейнольдса, начиная с которого радиальное расходящееся течение между двумя плоскостями происходит в сторону увеличения давления:

$$Re' = \frac{12\xi_0}{1 + b\xi_0}, \quad (23)$$

а если в (22) положить $b = 0$, то получим выражение, справедливое для соосных конических каналов с эквидистантными границами [7].

Выражения (22) и (23) показывают, что течение в направлении восстановления давления возможно как при $b > 0$, так и при $b < 0$, т.е. как в соосном коническом канале с увеличивающейся шириной вдоль течения, так и в канале с уменьшающейся шириной вдоль течения. Но значения чисел Рейнольдса, начиная с которых, течение будет происходить в сторону увеличения давления, как мы видели, для таких каналов будет различным.

Это связано с тем, что при $b < 0$ площадь поперечного сечения канала (6) увеличивается менее интенсивно вдоль течения, чем при $b > 0$ (рис. 3), и

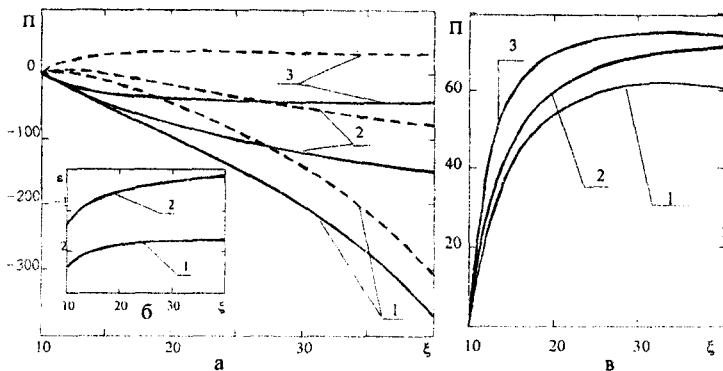


Рис. 12. Распределения вдоль диффузорного течения в соосном коническом канале с размерами $\xi_0 = 10$, $\xi_1 = 40$, $\alpha = 15^\circ$: а – безразмерного давления, рассчитанного без учета инерционных сил – сплошные линии, и с учетом инерционных сил, возникающих вследствие изменения сечения канала вдоль течения при $Re = 150$ – штриховые линии: 1 – в канале с линейно уменьшающейся шириной $b = -0.0175$; 2 – в канале с постоянной шириной. т.е. $b = 0$; 3 – в канале с линейно растущей шириной канала вдоль течения при $b = 0.0875$; б – относительного отклонения давления, рассчитанного с учетом инерционных сил при $Re = 150$ от давления, определенного без такого учета: 1 – в канале с $b = 0.0875$, 2 – $b = -0.0175$; в – инерционной составляющей безразмерного давления при $Re = 0$: 1 – для канала с $b = -0.0175$, 2 – $b = 0$, 3 – $b = 0.0875$

поэтому в первом случае меньшая часть кинетической энергии движения жидкости переходит в потенциальную энергию напряженного состояния, и поэтому между числами Рейнольдса, при которых возможно течение в сторону увеличения Π , будет выполняться соотношение:

$$Re'_{b < 0} > Re'_{b > 0}. \quad (24)$$

Распределение давления в канале с уменьшающейся шириной для $b = -0.017$ является немонотонной функцией ξ (рис. 7). Это происходит потому, что в начале течения значение средней скорости наибольшее и в соответствие с (19) здесь будут преобладать инерционные силы. Поэтому жидкость здесь течет в сторону увеличения давления. Затем интенсивность изменения средней скорости уменьшается вместе с падением ее величины, благодаря чему на некотором расстоянии от входа в канал начинает преобладать изменение давления за счет трения над изменением давления за счет инерционных эффектов. Жидкость здесь течет в сторону падения давления (рис. 7).

Заметим, что если выбрать значение полуугла раскрытия внешнего конуса равным 90° , мы получим решение задачи радиального течения между плоскостью и конической поверхностью, расположенной над ней.

Заклучение

В работе решена задача ламинарного диффузорного течения в соосном коническом канале переменной ширины при частичном учете различия в кривизне граници и учетом инерционной силы, возникающей вследствие изменения площади поперечного сечения канала вдоль течения. Получены аналитические выражения для вычисления перепада давления и распределения скорости в канале, а также критические значения чисел Рейнольдса, начиная с которых течение происходит в сторону увеличения давления.

Представленные результаты позволяют выбрать оптимальные технологические и конструкционные параметры экструзионных головок.

Обозначения

h – ширина канала, м; P , P_0 – давление текущее и на входе, Па; Q – объёмный расход, м³/с; R , R_0 , R_1 – координата радиальная и выхода из канала и входа в него, м; V – скорость, м/с; x , y , z – декартовы координаты, м; α – половина угла внешней конической поверхности, рад; ρ – удельная плотность жидкости, кг/м³; μ – вязкость, Па·с; X – поперечная биконическая координата, м; $Re = \frac{\rho h V_0}{\mu}$ – число Рейнольдса.

Список литературы: 1. *Joshi M. V.* Dies for plastics extrusion. Delhi: Macmillan, India Limited, 1984. 176 p. 2. *Sors L., Bardocz L., Radnoti I.* Plastic molds and dies. Budapest: Akademiai Kiado, 1980. 495 p. 3. *Ульев Л.М.* Медленные течения между соосными поверхностями // ИФЖ. 1998. Т. 71, № 6. С. 1092 – 1098. 4. *Ульев Л.М.* Медленные течения в коаксиальных конических каналах // Вестник ХГПУ. Механика. Машиностроение. Харьков, ХГПУ. 1997. Вып. 7. Ч. 2. С. 22 – 31. 5. *Ульев Л.М.* Медленные течения в коаксиальных конических щелях переменной ширины // Вестник ХГПУ. 1999. Вып. 34. С. 3 – 8. 6. *Ульев Л.М.* Решение задачи ламинарного течения между коническими поверхностями с общей вершиной при частичном учете инерционных свойств // Вестник НТУ “ХПИ”. 2001. № 3. Харьков. НТУ “ХПИ”. С. 224 – 235. 7. *Ульев Л.М.* Решение задачи ламинарного диффузорного течения в соосном коническом канале постоянной ширины с частичным учетом инерционных свойств // Вестник НТУ “ХПИ”. 2002. № 6. Харьков. НТУ “ХПИ”. С. 66 – 71. 8. *Гольдин А.М., Карамзин В.А.* Гидродинамические основы процессов тонкослойного сепарирования. М.: Агропромиздат, 1985. С. 264. 9. *Ульев Л.М.* Влияние кривизны граници на установившееся ламинарное течение в кольцевом коническом канале постоянной ширины // Интегровані технології та енергозбереження. 2001, № 1. С. 34 – 44. 10. *Ульев Л.М.* Развитие ламинарного диффузорного течения в конической щели постоянной ширины // Интегровані технології та енергозбереження. Харьков. 2000, №1. С. 57 – 69. 11. *Тарг С.М.* Основные задачи теории ламинарных течений. М.: Госиздат. тех.–теор. лит. 1951. С. 420. 12. *Ульев Л.М.* Развитие ламинарного диффузорного течения в соосных конических каналах постоянной ширины // Интегровані технології та енергозбереження. Харьков. 2003, № 2. С. 47 – 57.

Поступила в редколлегию