УДК 532.5; 678.027

Ульев Л.М.

ОСОБЕННОСТИ ЛАМИНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В СЕКТОРИАЛЬНОМ ДИФФУЗОРЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ШИРИНОЙ ВДОЛЬ КАНАЛА

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

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.

В работах [1,2] автором решены задачи медленного диффузорного течения в соосном канале, образованном коническими поверхностями с общей вершиной и в соосном коническом канале постоянной ширины. В работах [3,4] исследовалось ползущее медленное диффузорное течение в соосных конических каналах переменной ширины в случае, когда границы не имеют общей вершины.

Но в практических приложениях бывают случаи, когда различием в кривизне и самой кривизной граничных поверхностей можно пренебречь, и, благодаря этому, мы можем рассматривать течение в кольцевом коническом канале, как течение в секториальном канале (рис. 1). Изучению указанного течения и посвящается предлагаемая работа.

В дальнейшем, анализируя течения в таких каналах, мы будем рассматривать секториальные течения, отмечать их особенности и сравнивать эти особенности с особенностями, выявленными при анализе течений в соосных конических каналах с помощью биконических координат. Заметим, что это необходимо сделать еще и потому, что радиальные течения в секториальных каналах могут представлять самостоятельный интерес. Предельным случаем такого течения является радиальное течение между параллельными плоскостями.

Математическая постановка задачи и ее решение

Если соосный кольцевой канал образован коническими поверхностями с полууглом раскрытия α для внешней из них и ограничен радиальными координатами R_0 и R_1, отсчитываемыми от вершины внешнего конуса, то разворот такого канала будет представлять собой часть цилиндрического сектора с углом раскрытия $\varphi = 2\pi\sin\alpha$ и ограниченного радиусами R_0 и R_1 (рис. 1).

Течение жидкости в таком канале удобно описывать в цилиндрической системе координат, связанной с геометрией канала (рис 1 б). Как и раньше, мы предполагаем, что течение в соосном коническом канале аксиально-симметричное, поэтому при его аппроксимации течением в плоском расширяющемся канале постоянной ширины мы будем рассматривать радиальное и аксиально-симметричное течение во всем диапазоне изменения угловой координаты $\varphi = [0\ldots2\pi\sin\alpha]$. Действительно, мы как бы разрезаем аксиально-симметричное течение в коаксиальном коническом канале вдоль образующей конической поверхности и разворачиваем его на плоскость, поэтому распределение скоростей в плоскостях, ограничивающих канал при $\varphi = 0$ и $\varphi = 2\pi\sin\alpha$, должно совпадать с распределением скорости в плоскости диаметрального сечения с любым значением угла φ.

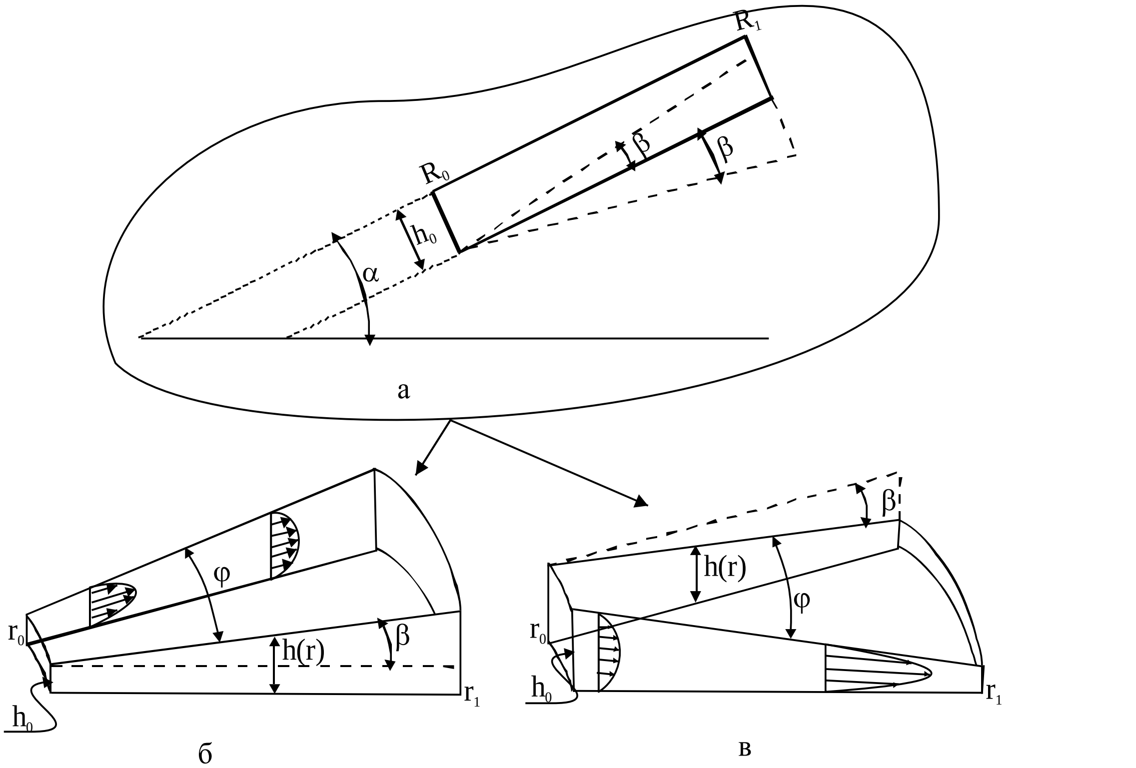

Рисунок 1 – Аппроксимация диффузорного течения в соосном коническом канале с переменной шириной вдоль течения с помощью течения в секториальном канале переменной ширины с плоскими границами: а) – продольный разрез соосного конического канала; h_0 – ширина входа в канал; R_0, R_1 – радиальная биконическая координата входа в канал и выхода из него; α – полуугол раскрытия внешней конической границы; β – разность между полууглами раскрытия внешней и внутренней конической поверхностями; б) – секториальный канал с плоскими границами, аппроксимирующий диффузорное течение в соосном коническом канале с увеличивающейся шириной вдоль течения; в) – геометрия канала, аппроксимирующего диффузорное течение в соосном коническом канале с уменьшающейся шириной вдоль канала; h_0, h(r) – ширина канала на входе и текущая ширина; r_0, r_1 – радиальные цилиндрические координаты входа в канал и выхода из него; β – угол между плоскими границами; $\varphi = 2\pi\sin\alpha$ – угол разворота внешней границы соосного конического канала на плоскость

Для дальнейшего анализа течения воспользуемся оценками величины членов в уравнениях гидродинамики, которые мы проделали в работах [3, 4], т.е. будем рассматривать диффузорное течение в аппроксимирующем канале переменной ширины с пренебрежимо малыми числами Рейнольдса и при выполнении условия $V_z = o(V_r)$.

В этом случае аксиальносимметричное диффузорное течение несжимаемой жидкости в каналах, показанных на рис. 1, используя безразмерные координаты:

$$\xi = \frac{r}{h_0};\ \chi = \frac{z}{h_0};\ v = \frac{V}{V_0};\ \Pi = \frac{\left(P - P_0\right)h_0}{\mu V_0}, \tag{1}$$

где

$$V_0 = \frac{Q}{2\pi r_0 h_0 \sin\alpha}, \tag{2}$$

V_0 – средняя скорость на входе в канал, будет описываться системой безразмерных уравнений:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 v}{\partial \chi^2}; \tag{3}$$

$$v = 0,\ \chi = 0; \tag{4}$$

$$v = 0,\ \chi = 1 + b(\xi - \xi_0); \tag{5}$$

$$\Pi = 0,\ \xi = \xi_0. \tag{6}$$

Безразмерная ширина канала определяется выражением:

$$\tilde{h}(\xi) = 1 + b(\xi - \xi_0), \tag{7}$$

а условие постоянства расхода запишется как:

$$\int\limits_0^{1+b(\xi-\xi_0)} v d\chi = \frac{\xi_0}{\xi}. \tag{8}$$

В рассматриваемом случае параметр b – это тангенс угла между плоскостью, которая образует стенку канала, определяемую выражением z = h(ξ) (рис. 1), сектором 2πsinα, двумя координатами r_0 и r_1 и плоскостью параллельной стенки канала с координатой z = 0. Из геометрических соображений параметр b должен удовлетворять условию $b(\xi_1 - \xi_0) > -1$ или $b > \frac{1}{\xi_0 - \xi_1}$.

Площадь поперечного сечения рассматриваемых каналов будет определяться выражением:

$$S_f = 2\pi r\left[h_0 + b\left(r - r_0\right)\right]\sin\alpha, \tag{9}$$

что позволяет определить среднюю размерную скорость как:

$$\bar{V} = \frac{Q}{2\pi r\left[h_0 + b\left(r - r_0\right)\right]\sin\alpha}. \tag{10}$$

Мы также можем определить безразмерную площадь поверхности поперечного сечения канала, принимая за масштаб поверхности площадь поверхности поперечного сечения на входе в канал $S_0 = 2\pi r_0 h_0 \sin\alpha$

$$\tilde{s} = \frac{S_f}{S_0} = \frac{\xi\left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]}{\xi_0}. \tag{11}$$

Тогда средняя по сечению канала безразмерная скорость определится как:

$$\bar{v} = \frac{\bar{V}}{V_0} = \frac{\xi_0}{\xi\left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]} = \frac{1}{\tilde{s}}. \tag{12}$$

Интегрируя (3) с граничными условиями (4-6) и учитывая (8), получим решение, определяющее распределения скорости жидкости при диффузорном течении в секториальном канале переменной ширины:

$$v = -6\frac{\xi_0}{\xi}\frac{\chi^2 - \left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]\chi}{\left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]^3}, \tag{13}$$

безразмерного градиента давления:

$$\frac{d\Pi}{d\xi} = -\frac{12}{\left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]^3}\frac{\xi_0}{\xi} = -\frac{12\overline{v}}{\left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]^2}, \tag{14}$$

и безразмерного давления:

$$\begin{aligned} \Pi\left(\xi\right) = \frac{6\xi_0}{\left(1 - b\xi_0\right)^2}\left\{\frac{2}{1 - b\xi_0}\ln\frac{\xi_0\left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]}{\xi} + \right. \\ \left. + 3 - b\xi_0 - \frac{3\left(1 - b\xi_0\right) + 2b\xi_0}{\left[1 + b\left(\xi - \xi_0\right)\right]^3}\right\}. \end{aligned} \tag{15}$$

Анализ особенностей диффузорного течения в секториальном канале переменной ширины

При анализе выражения (15) мы сразу замечаем, что оно при $\xi \to \infty$ имеет конечный предел:

$$\lim_{\xi \to \infty}\Pi\left(\infty\right) = \frac{6\xi_0}{\left(1 + b\xi_0\right)^2}\left(\frac{2}{1 - b\xi_0}\ln b\xi_0 + 3 - b\xi_0\right), \tag{16}$$

т.е. перепад давления при диффузорном течении в секториальном канале увеличивающейся ширины и образованном плоскими границами является конечной величиной, какой бы длины этот канал не был. Этот результат качественно совпадает с результатом, полученным для диффузорного течения в соосном коническом канале переменной ширины [4], и существенно отличается от результата, полученного для диффузорного течения в плоском секториальном канале постоянной ширины [5], когда перепад давления стремится к $-\infty$ при $\xi \to \infty$, что аналогично распределению перепада давления при течении в прямолинейной трубе.

Течение в секториальном канале с линейно меняющейся шириной вдоль течения будет характеризоваться двумя параметрами ξ_0 и b. Проанализируем течение в секториальном канале с теми $\xi_0 = 10$, $b_1 = 0.087$ и $b_2 = -0.017$, что соответствует $\alpha = 15°$, $\alpha_1 = 10°$, $\alpha_2 = 16°$ при течении в соосном коническом диффузоре.

Соотношения (12) показывают, что средняя безразмерная скорость является обратной величиной к безразмерной площади поперечного сечения. Для сравнения распределений средних безразмерных скоростей в каналах в одном масштабе воспользуемся множителем $2\xi_0/(2\xi_0\text{-}\mathrm{ctg}\alpha)$,переводящим значения скорости, полученные в работе

[4], в масштаб, выбранный в настоящей статье. Мы видим, что в соответствие с различием в площадях поперечных сечений каналов, средняя скорость в соосном канале вблизи входа в канал будет заметно выше, чем в плоском аппроксимирующем канале (рис. 2). Далее вдоль течения различие между средними скоростями v_c и v_f будет уменьшаться в соответствие с уменьшением различия в кривизне граничных поверхностей и площадях поперечных сечений конического и плоского каналов. Наибольшее относительное отклонение между средними скоростями наблюдается в канале с увеличивающейся шириной вдоль течения, а наименьшее – для канала с уменьшающейся шириной, что соответствует отклонению площадей поперечных сечений в этих каналах.

В каналах, ширина которых вдоль течения не уменьшается, т.е. при $b \geq 0$, средняя безразмерная скорость монотонно уменьшается в соответствие с монотонным увеличением площади поперечного сечения канала вдоль течения.

В случае течения в канале при $b < 0$ средняя скорость может иметь немонотонную зависимость от ξ. Значение координаты ξ, на которой находится минимальное значение средней безразмерной скорости, определим из условия $\dfrac{d\bar{v}}{d\xi} = 0$:

$$\xi_{\bar{v}\min} = \frac{b\xi_0 - 1}{2b} = \frac{\xi_0}{2} - \frac{1}{2b}. \tag{17}$$

Отсюда определяем интервал значений параметра b, в котором зависимость $\bar{v}(\xi)$ является немонотонной в пределах канала из условия $\xi_{\bar{v}\min} = \xi_1$:

$$b^f_{\bar{v}_1} = \frac{1}{\xi_0 - 2\xi_1}. \tag{18}$$

Очевидно, что минимально возможное значение b определяется соотношением ($b_{v2} = \dfrac{1}{\xi_0 - \xi_1}$), и тогда интервалом значений b, в пределах которого $\bar{v}(\xi)$ будет немонотонной зависимостью, является интервал $\left[b_{\bar{v}_2},\ b^f_{\bar{v}_1}\right]$.

Определим значение b, при котором минимальное значение $\bar{v}$ может находиться вблизи входа в канал. Если мы положим $\xi_{\bar{v}_{\min}} = \xi_0$, то получим:

$$b^f_{\bar{v}_3} = -\frac{1}{\xi_0}, \tag{19}$$

и для рассматриваемого случая $b^f_{v_3} = -0.1 < b_{\bar{v}_2}$, т.е. наше предположение невыполнимо. Но если далее положить $b^f_{v_3} = b_{v_2}$, мы найдем соотношение, при котором возможна локализация минимального значения средней скорости на входе в канал:

$$\xi_1 = 2\xi_0. \tag{20}$$

Используя соотношения (17) - (19), мы определим условия, при которых функция $\bar{v}(\xi)$ является монотонной в пределах канала. Очевидно, что средняя скорость бу-

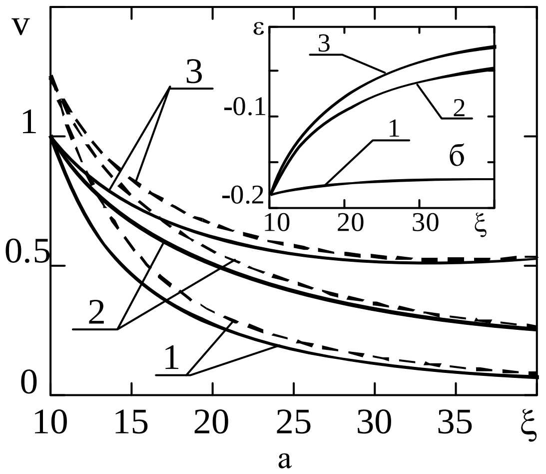

Рисунок 2 а) – распределение безразмерной средней скорости при диффузорном течении в соосном коническом канале. Сплошные линии для течения в аппроксимирующем секториальном канале с плоскими границами (рис. b1), штриховые для течения в канале, образованном коническими поверхностями при $\alpha = 15°$. 1 – при течении с увеличивающейся шириной канала вдоль течения, b = 0.087; 2 – при течении в канале с постоянной шириной вдоль течения, b = 0; 3 – при течении в канале с уменьшающейся шириной канала, b = -0.017. б) – относительное отклонение между распределениями скоростей

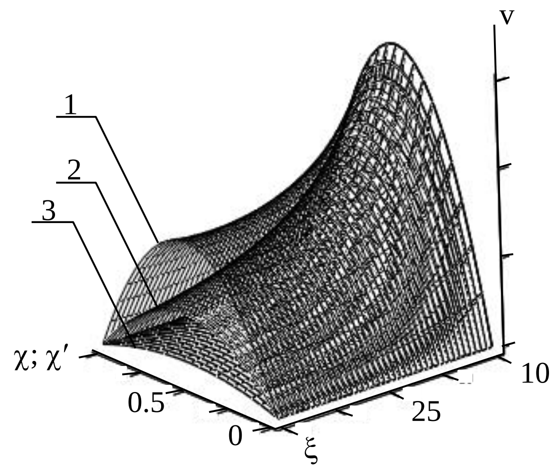

Рисунок 3 – Распределение безразмерной скорости при диффузорном течении в секториальном канале переменной ширины с плоскими границами. 1 – течение в канале с уменьшающейся шириной вдоль течения при b = -0.017; 2 – для течения в канале постоянной ширины; 3 – для течения в канале с увеличивающейся шириной при b = 0.087. χ' определяется преобразованием (21)

дет монотонно убывающей функцией вдоль течения при условии $b \geq b^f_{\bar{v}_1}$, а монотонно возрастающей функцией при выполнении условий $b \leq b^f_{\bar{v}_3}$ и $\xi_0 \geq \frac{1}{2}\xi_1$.

Понятно, что распределение средней скорости вдоль течения (рис. 2) представляет интегральную характеристику распределения скорости в канале (рис. 3). Здесь необходимо иметь в виду, что на рис. 3 для представления распределения скорости в канале с линейно изменяющейся шириной использована область определения ξ, χ', связанная с безразмерными координатами ξ, χ изоморфным преобразованием:

$$\xi' = \xi,\ \chi' = \frac{\chi}{1 + b\left(\xi - \xi_0\right)}. \tag{21}$$

Распределение скорости поперек течения в каналах с неуменьшающейся шириной, оставаясь параболическим, монотонно уменьшается вдоль течения, а в канале с уменьшающейся шириной вдоль течения имеет седлообразный вид (рис. 3).

С распределением скорости жидкости поперек канала связано напряжение сдвига на его стенках, которое определяется скоростью сдвига на границах.

При течении в соосном коническом диффузоре с переменной шириной скорость сдвига на границах канала определится как:

$$\dot{\gamma}_\Gamma = \left|\frac{dv}{d\chi}\right|\Bigg|_{\chi=\begin{cases}0\\1+b_i(\xi-\xi_0)\end{cases}} = \frac{6\xi_0}{\xi\left[1 + b_i\left(\xi - \xi_0\right)\right]^2}, \tag{22}$$

где $b_0 = 0$ – принимается для канала постоянной ширины. Если ширина канала вдоль течения уменьшается, т.е. $b < 0$, то распределение скорости сдвига на границе может иметь немонотонный характер (рис. 4). Действительно, при анализе течения с $b_2 = -0.017$ в начале течения, когда средняя скорость уменьшается (рис. 2), уменьшается и скорость сдвига на границе (рис. 4). На некотором расстоянии от входа $|\dot{\gamma}_Г|$ достигает минимального значения, которое определим из условия $\frac{d\gamma_г}{d\xi} = 0$:

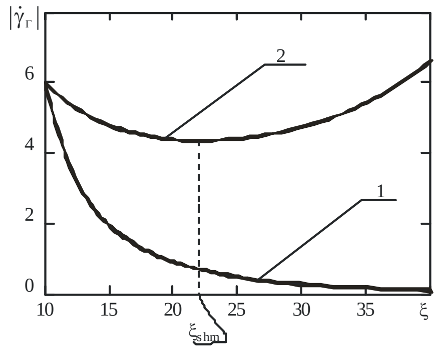

Рисунок 4 – Распределение модуля скорости сдвига на границах при диффузорном течении в секториальном канале переменной ширины с плоскими границами и безразмерной координатой входа, равной $\xi_0 = 10$. 1 – для течения в канале с увеличивающейся вдоль течения шириной при $b = 0.087$; 2 – для течения в канале с уменьшающейся шириной вдоль течения при $b = -0.017$. ξ_{shm} – значение безразмерной координаты, где достигается минимальное значение модуля скорости сдвига на границе при $b = -0.017$

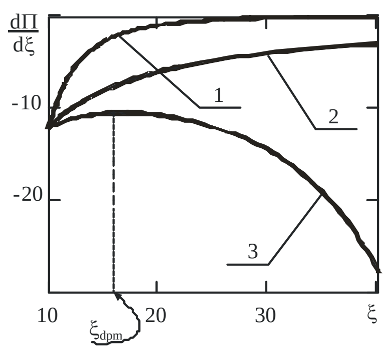

Рисунок 5 – Распределение безразмерного гради-ента давления вдоль диффузорного течения в секториальном канале: 1 – в канале с увеличивающейся шириной вдоль течения, $b = 0.087$; 2 – при течении в канале постоянной ширины; 3 – при течении в канале с уменьшающейся шириной, $b = -0.017$. ξ_{dpm} – значение безразмерной координаты, на которой локализируется минимальное значение градиента давления при $b = -0.017$

$$\xi_{shm} = \frac{b\xi_0 - 1}{3b} = \frac{\xi_0}{3} - \frac{1}{3b}. \tag{23}$$

Также, как и для распределения средней скорости, наименьшее значение $|\dot{\gamma}_Г|$ при уменьшении b сначала появится на выходе из канала, что позволяет определить значение b, при котором зависимость $\dot{\gamma}_Г(\xi)$ становится немонотонной из условия $\xi_{shm} = \xi_1$:

$$b^f_{s_1} = \frac{1}{\xi_0 - 3\xi_1}. \tag{24}$$

Здесь необходимо заметить, что $b^f_{s_1} > b^f_{\bar{v}_1}$, т.е. существует секториальные каналы, при течении в которых наблюдается немонотонная зависимость $\dot{\gamma}_Г(\xi)$ при монотонной зависимости $\bar{v}(\xi)$. Минимально возможное значение величины b, очевидно, определяется выражением $b_{v2} = 1/(\xi_0 - \xi_1)$ [4], т.е. диапазон изменения b, в котором зависимость $\dot{\gamma}_Г(\xi)$ немонотонна, определяется интервалом $\left[b_{v_2},\ b^f_{s_1}\right]$.

Заметим, что локализация минимума $\dot{\gamma}_Г(\xi)$ возможна и на входе в канал. При этом выполняется равенство $\xi_{shm} = \xi_0$, откуда получаем:

$$b_{s_3}^{f} = -\frac{1}{2\xi_0}. \tag{25}$$

Но для того, чтобы было возможно нахождение минимального значения $\dot{\gamma}_{\Gamma}$ в точке $\xi = \xi_0$ необходимо также, чтобы выполнялось условие $b_{s_3}^{f} \geq b_{\bar{v}_2}$, откуда получаем связь между координатами для этого случая:

$$\xi_0 \leq \frac{1}{3}\xi_1. \tag{26}$$

Распределение безразмерного градиента давления при диффузорном течении в аппроксимирующем канале с плоскими границами также, как и при течении в соосном коническом канале полностью определяется распределением средней безразмерной скорости вдоль канала и его геометрией (13).

При значениях $b \geq 0$ $\left|\Pi'_{\xi}\right|$ уменьшается вдоль течения (рис. 5), т.к. уменьшается $\bar{v}$ и увеличивается ξ (14). При отрицательных значениях b зависимость градиента давления вдоль течения может иметь немонотонный характер (рис. 5). В пределах некоторого отрезка длины канала вблизи входа скорость сдвига на стенках канала уменьшается до своего минимального значения (рис. 4), поэтому здесь уменьшается модуль напряжения сдвига, а значит и абсолютная величина градиента давления (рис 5). На некотором расстоянии от входа безразмерный градиент давления достигает значения минимального по абсолютной величине, и затем модуль его значения начинает увеличиваться (рис. 5). Локализацию экстремального значения градиента давления определим из условия $\Pi''_{\xi} = 0$:

$$\xi_{dpm} = \frac{b\xi_0 - 1}{4b}, \tag{27}$$

т.е. в два раза больше, чем $\xi_{\bar{v}_{min}}$.

Из (27), находим соотношение между параметрами, определяющими решение задачи, при котором безразмерный градиент давления будет монотонно возрастающей функцией координаты ξ в пределах канала. Для этого необходимо выполнение условия $\xi_{dpm} \geq \xi_1$, откуда получаем:

$$b \geq \frac{1}{\xi_0 - 4\xi_1}. \tag{28}$$

Для того, чтобы функция $\Pi'_{\xi}(\xi)$ была монотонно убывающей, очевидно, необходимо выполнение условия $\xi_{dpm} \leq \xi_0$, откуда получаем:

$$b \leq -\frac{1}{3\xi_0}. \tag{29}$$

Вместе с (29), очевидно, тоже необходимо выполнение условия $b \geq b_{\bar{v}_2}$, откуда имеем:

$$\xi_0 \leq \frac{1}{4}\xi_1. \tag{30}$$

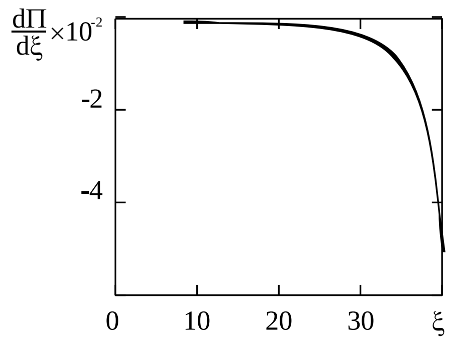

Рисунок 6 – Распределение безразмерного градиента давления при диффузорном течении жидкости в секториальном канале с умень-шающейся шириной вдоль течения и параметрами $\xi_0 = 8$, $\xi_1 = 40$, b = - 0.02619

Условия (28) и (30) , например, выполняются для параметров $\xi_0 = 8$; $\xi_1 = 40$; $b = –0.02619$, вследствие чего безразмерный градиент давления является монотонно убывающей функцией (рис. 6). Заметим, что функции $\bar{v}(\xi)$ и $\dot{\gamma}_\Gamma(\xi)$ в этом случае немонотонны (рис. в.17).

Сравнивая (30) с (26), мы видим, что существуют секториальные каналы, в которых при монотонной функции $\dot{\gamma}_\Gamma(\xi)$ зависимость $\Pi'_\xi(\xi)$ будет немонотонна.

Из соотношения (28) получаем условие, при котором зависимость безразмерного градиента давления от координаты ξ будет немонотонной в пределах канала:

$$\frac{1}{\xi_0 - \xi_1} \le b \le \frac{1}{\xi_0 - 4\xi_1}. \qquad (31)$$

Распределение безразмерного давления вдоль канала (рис. 6) определяется распределением его градиента. При $b > 0$ безразмерный градиент давления уменьшается и за координатой $\xi = 30$ стремится к 0, поэтому безразмерное давление, достигнув некоторой величины, далее практически не изменяется и стремится к своему значению, определяемому выражением (16).

В случае течения с уменьшающейся шириной канала зависимость $\Pi(\xi)$ имеет точку перегиба на координате ξ_{dpm}. До этой координаты $\Pi(\xi)$ выпукла вниз и характер изменения безразмерного давления такой же, как и при $b > 0$ или $b = 0$ (рис. 6). За этой координатой $\Pi(\xi)$ становится выпуклой вверх, и с изменением ξ на одинаковую величину приращение Π будет возрастать (рис. 8).

Давайте сравним результаты, получаемые с помощью решения, выполненного для диффузорного течения в соосном коническом канале переменной ширины [3, 4] с результатами, полученными для аппроксимирующего канала.

Рассмотрим распределение безразмерного давления в канале, ограниченном координатами $\xi_0 = 10$, $\xi_1 = 40$ в зависимости от угла раскрытия внешней конической поверхности ($\chi = 0$) и от параметра b. Но сначала необходимо выразить результаты в едином масштабе с масштабным множителем, независящим от угла раскрытия конических поверхностей. Для этого за масштаб скорости выберем величину $Q/\pi h_0^2$, тогда выражение для вычисления безразмерного давления при диффузорном течении в соосном коническом канале [4] запишется как:

$$\text{Ï}^{*}_{\text{ñ}} = \frac{6}{(1-b\xi_0)\sin\alpha}\left\{\frac{(b\,\mathrm{ctg}\alpha-2)^2}{4(1-b\xi_0)}\ln\frac{[1+b(\xi-\xi_0)](\mathrm{ctg}\alpha-2\xi_0)}{[1+b(\xi-\xi_0)]\mathrm{ctg}\alpha-2\xi_0}+\right.$$
$$\left.+\frac{b\{\xi-\xi_0\}}{2[1+b(\xi-\xi_0)]}\left[\frac{2-b\,\mathrm{ctg}\alpha}{1-b\xi_0}+\frac{2+b(\xi-\xi_0)}{1+b(\xi-\xi_0)}\right]\right\}, \qquad (32)$$

а при диффузорном течении в аппроксимирующем канале (15) запишется в виде:

$$\Pi_f^* = \frac{\Pi(\xi)}{2\sin\alpha}. \tag{33}$$

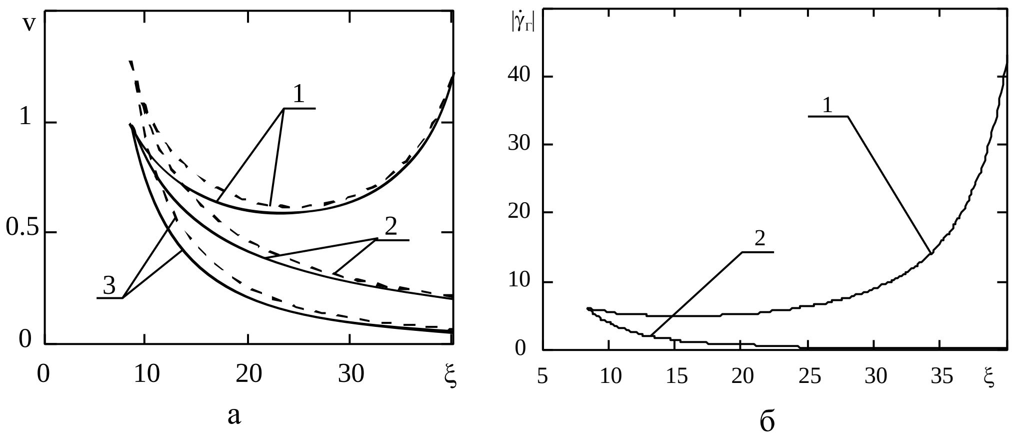

Рисунок 7 – а) Распределение безразмерной средней скорости при диффузорном течении в соосном коническом канале с параметрами: ξ_0 = 83, ξ_1 = 40, α = 15° – сплошные линии, штриховые линии для распределения средней безразмерной скорости в секториальном канале, аппроксимирующим соосный конический канал; б) распределение модуля скорости сдвига на границах канала; 1 – течение при b = -0.02619; 2 – b = 0; 3 – b = 0.087

Распределение этих величин показано на рисунке 9. Визуально их значения достаточно близки, но относительное отклонение Π_f^* от Π_c^* может достигать величины, большей 30 %. Наибольшее отличие наблюдается при малом угле раскрытия внешней конической поверхности ($\chi = 0$) и наибольших положительных значениях параметра b, т.е. в тех случаях, когда существует наибольшее различие в площади поперечных сечений каналов вследствие малых радиусов кривизны у конических границ.

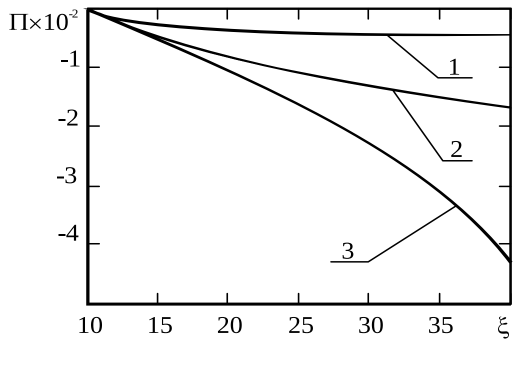

Рисунок 8 – Распределение безразмерного давления при диффузорном течении в секториальном канале с безразмерной координатой входа ξ_0 =10: 1 – в канале с увеличивающейся шириной, b = 0.087; 2 – в канале с постоянной шириной вдоль течения, b = 0; 3 – в канале с уменьшающейся шириной вдоль течения, b = -0.0175

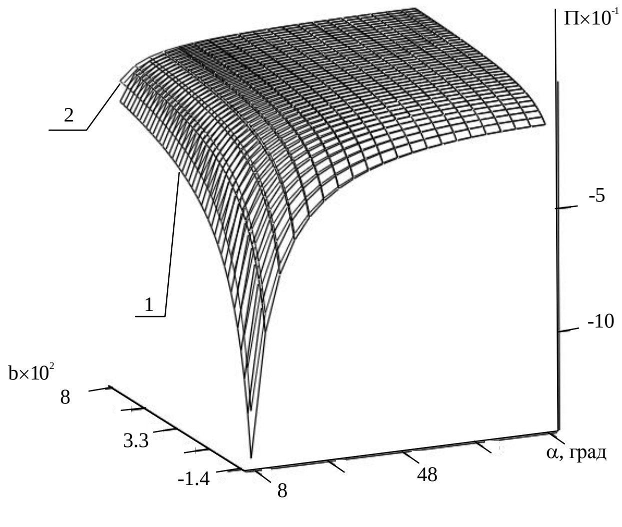

Рисунок 9 – Распределение безразмерного давления при диффузорном течении в соосном коническом канале – 1 и аппроксимирующем секториальном канале –2 в зависимости от полуугла раскрытия внешней конической поверхности – α и параметра b. Канал характеризуется координатами: ξ_0 =10, ξ_1 = 40

Да

Площадь поперечного сечения соосного конического канала всегда меньше площади сечения аппроксимирующего канала для одинаковых значений ξ, поэтому средняя скорость будет выше здесь (рис. 2). Распределение безразмерной скорости по всему поперечному сечению будет выше, чем в аппроксимирующем канале, а значит, в коническом приближении будет больше и модуль скорости сдвига на границах канала и, как следствие, перепад безразмерного давления Π_c^* больше, чем Π_f^* для всего диапазона определяющих параметров (рис. 9).

Заключение

В работе получено решение задачи ламинарного диффузорного течения в секториальном канале. Проведено сравнение полученного решения с решением, полученным ранее для течения в соосном коническом канале, который может быть аппроксимирован секториальным каналом. Определены параметры задачи, при которых наблюдается наибольшее расхождение в решениях. Полученные результаты используются для расчета формующего оборудования.

Обозначения

h – ширина канала, м; P, P_0 – давление текущее и на входе, Па; Q – объёмный расход, $м^3/с$; r, r_0, r_1 – координата радиальная, выхода из канала и входа в него, м; V – скорость, м/с; α – половина угла внешней конической поверхности, рад; Z – поперечная цилиндрическая координата, м.

Литература

1. Ульев Л.М. Медленные течения в коаксиальных конических каналах // Вестник ХГПУ. Механика. Машиностроение. Харьков, ХГПУ.– 1997. Вып. 7. Ч. 2. С. 22-31.
2. Ульев Л.М. Медленные течения между соосными коническими поверхностями // ИФЖ.– 1998. Т. 71, №. 6. С. 1092-1098.
3. Ульев Л.М. Медленные течения в коаксиальных конических щелях переменной ширины // Вестник ХГПУ.– 1999. Вып. 34. С. 3-8.
4. Ульев Л.М. Ламинарное диффузорное течение в соосном коническом канале переменной ширины с частичным учетом сил инерции // Вестник ХГПУ.– 2003. Вып. 17. С. 143-153.
5. Ульев Л.М. Ламинарное диффузорное течение в секториальном канале постоянной ширины с частичным учетом инерционных свойств// Вестник ХГПУ.– 2003. Вып. 11, № 2. С. 143-153.

УДК 532.5; 678.027

Ульєв Л.М.

ОСОБЛИВОСТІ ЛАМІНАРНОЇ ТЕЧІЇ У СЕКТОРІАЛЬНОМУ ДИФУЗОРІ З ЗМІННОЮ ШИРИНОЮ ВЗДОВЖ КАНАЛУ

Одержано рішення задачі ламінарної дифузорної течії у секторіальному каналі. Отримано вирази для розрахунку розподілу швидкості та перепаду тиску у каналі. Виконано порівняння отриманого рішення з рішенням, вилученим для течії у співвісному конічному дифузорі. Визначено параметри задачі, при яких спостерігається найбільша розбіжність у рішеннях. Результати використовуються для розрахунку формуючого обладнання.