

Введение В современной технике широко применяются конфузоры каналы переменного сечения, сужающиеся по направлению потока. Они используются в качестве направляющих аппаратов в центробежных и осевых компрессорах, вентиляторах и градирнях, аэродинамических трубах. Особенности применения конфузоров является то, что поток поступает в них из больших объемов. На гидродинамические характеристики течения в указанных устройствах большое влияние оказывают геометрические особенности канала и характеристики потока на входе устройства. На сегодняшний день существует большое количество различных типов конфузорных каналов, среди которых сопла Вентури, конические и коноидальные устройства, экспоненциальные и радиусные, сопла Витошинского и сопла Лавалья, и многие другие. Все они имеют свои особенности построения и области применения. Что касается характеристик потока на входе канала – при рассмотрении течения в конфузоре без начального участка профиль скоростей на входе устройства будет равномерным, пограничный слой не сформирован, толщины вытеснения и потери импульса равны нулю. Формирование пограничного слоя в данном случае будет происходить по мере прохождения потока по каналу. При рассмотрении течения в соплах при наличии предвключенного участка, наоборот, во входном сечении канала имеет место сформированный пограничный слой и логарифмический профиль скоростей поперек турбулентного подслоя. Течение газа в условиях отрицательного продольного градиента давления Рассмотрим в данной работе течение в конфузорах трех типов: нормальном (в [1] он обозначен как ИСА1932), конфузоре с профилем Витошинского [2] и конфузоре, обеспечивающем минимум внутренней поверхности( далее будем обозначать его как  $min_{prov}$ ). Профили данных сужающих устройств представлены на рис.1.

Рис. 1 - Профили рассматриваемых конфузоров Течение в конфузорных каналах происходит под влиянием отрицательного продольного градиента давлений, пропорционального кривизне профиля конфузора. Значение параметра продольного градиента давления в может быть вычислено по формуле[4] (1)

Характер изменения скорости потока по продольной координате можно выяснить, рассчитав величину критерия Рейнольдса для  $i$ -го сечения конфузора. Данный расчет сводится к совместному решению уравнений движения и неразрывности, для конфузорного течения без предвключенного участка имеющих вид[3]:

$$\left( \frac{dV}{dx} \right) \left( \frac{d}{dx} \left( \frac{V}{\rho} \right) \right) = B \quad (1)$$
 и

$$\left( \frac{dV}{dx} \right) \left( \frac{d}{dx} \left( \frac{V}{\rho} \right) \right) = B \quad (2)$$
 принято, что ; ; ; (4) -формпараметр;

При турбулентном режиме течения закон трения в стандартных условиях принимает вид С учетом (4), выражение расчета параметра продольного градиента давления принимает вид (5) Учитывая, что параметр при течении в конфузорах отличается от значения в стандартных условиях , для его оценки были аппроксимированы данные, приведенные в [5] Эволюция изменения параметра продольного градиента давления при конфузорном течении без начального участка представлен на рис.2 . Как видно из графиков, характер

изменения данного параметра для всех рассматриваемых конфузоров имеют общие тенденции, однако линии не совпадают. В начальной части конфузоров, вместе с ростом производной радиуса конфузора по продольной координате, происходит увеличение абсолютного значения параметра  $\lambda$ , после чего на более пологом участке значение  $\lambda$  плавно возвращается к нулю в выходном сечении. В работе [3] показано, что увеличение  $\lambda$  приводит к утончению пограничного слоя, и, как следствие, к тому, что профиль скоростей в поперечном сечении пограничного слоя становится более заполненным. Следовательно, кинематическая структура потока для конфузора  $m_{\text{прон}}$  будет более однородной. При увеличении числа Рейнольдса входного потока или модуля конфузора при этом наблюдается тенденция уменьшения абсолютного значения параметра продольного градиента давления. Рис. 2 - Эволюция параметра продольного градиента давления по продольной координате конфузора

Влияние ускорения на кинематические характеристики потока Ускорение потока при движении в сужающихся каналах происходит под воздействием отрицательного продольного градиента давления. Следовательно, изменение скорости на оси потока по продольной координате в рассматриваемых конфузорах будет иметь несколько различный характер. На рис.3 представлена эволюция изменения отношения скорости по оси потока к скорости во входном сечении рассматриваемых конфузоров в функции продольной координаты канала. Из графиков видно, что возрастание скорости в устройствах одного модуля происходит до весьма близких значений, однако интенсивность изменения данного параметра для различных устройств не одинакова, и участки с наибольшим ускорением потока соответствуют участкам рис.2 с наибольшими абсолютными значениями параметра продольного градиента давления. Рис. 3 - Эволюция скорости потока на оси по продольной координате конфузора

На рис 4 приведены профили скоростей в выходном сечении рассматриваемых конфузоров. Учитывая, что толщина пограничного слоя для конфузоров  $m_{\text{прон}}$  и Витошинского модулей 0.25 в выходном сечении составляет 3,98 и 4,02%, а для нормального конфузора - 13%, из рис.3 можно сделать вывод, что профили скоростей первых двух типов совпадают и являются более заполненными относительно нормального конфузора. Рис. 4 - Профили скоростей в турбулентном пограничном слое

Влияние профиля скоростей на коэффициент расхода конфузора Заполненность профиля скоростей, напрямую влияет на величину коэффициента расхода, определяемую как отношение действительного расхода газа к его теоретическому значению. Расход среды может быть вычислен по выражению . Поскольку для расчета теоретического значения расхода принимается допущение, что профиль скоростей прямоуголен и скорость потока во всех точках сечения канала равна скорости на оси , можно записать, что коэффициент расхода равен . Таким образом, получаем, что

величина коэффициента расхода в выходном сечении конфузоров с профилем Витошинского и  $m_{\text{прон}}$  будет имеет одинаковые значения и ближе к единице, чем коэффициент расхода нормального конфузора. Действительно, расчеты показывают, что величина коэффициента расхода конфузоров  $m_{\text{прон}}$  и Витошинского равна 0,9944, а нормального конфузора 0,9838. Выводы В результате проведенных расчетов кинематических характеристик турбулентного течения и их сравнительного анализа для конфузоров трех типов, следует отметить, что в целом характеристики конфузоров  $m_{\text{прон}}$  и Витошинского имеют более близкие друг к другу значения. Возрастание скорости в устройствах одного модуля происходит до весьма близких значений, однако интенсивность изменения скорости для разных конфузоров различна, и участки с наибольшим ускорением потока соответствуют участкам с наибольшими абсолютными значениями параметра продольного градиента давления. Профили скоростей на выходе конфузора  $m_{\text{прон}}$  совпадает с профилем для сопла Витошинского и более заполнены, чем профиль скорости нормального конфузора, следствием чего является более высокое значение коэффициента расхода для первых двух типов конфузоров.