

Расходомеры переменного перепада давления в настоящее время являются популярными и хорошо изученными средствами измерения расхода жидких и газообразных сред [1,2]. Однако, наряду с достоинствами они обладают рядом недостатков, одним из которых является чувствительность статических характеристик их первичных преобразователей (сопел, диафрагм и напорных трубок) к трансформации кинематической структуры контролируемых потоков, происходящей под воздействием различных возмущений, таких как неизотермичность и турбулизация потока, шероховатость стенок канала, геометрия сужающего устройства и т.п. [3]. В связи с вышесказанным, установление и учет влияния каждого из перечисленных возмущающих воздействий на коэффициент истечения сужающего устройства в отдельности или в совокупности представляет значительный практический интерес. В данной работе рассматривается влияние фактора турбулизации потоков контролируемых сред на коэффициент истечения сужающего устройства. Согласно положениям теории пограничного слоя коэффициент истечения расходомерного сопла может быть представлена выражением [4], (1) где δ - толщина вытеснения пограничного слоя в горловине сопла, чувствительная к изменению кинематической структуры потока и к изменениям локального коэффициента трения. Последние достижения в области исследования пристенных турбулентных течений [5] показывают, что на величины локальных коэффициентов трения в пограничных слоях, а следовательно на коэффициенты истечения расходомерных сопел (согласно (1)) существенное влияние оказывает изменение степени турбулизации во внешнем по отношению к пограничному слою потоке. Учет влияния данного возмущающего воздействия на величину коэффициента истечения расходомерного сопла может быть осуществлен путем введения в выражение для закона трения соответствующей корректировочной функции. Согласно [4]: (2) а выражение для относительного коэффициента трения при изотермическом обтекании непроницаемой поверхности может быть представлена в следующем виде: (3) Здесь τ_w ; τ_{w0} ; δ ; δ_0 ; δ^+ ; δ_0^+ ; δ^+/δ_0^+ - относительные скорость и толщина ламинарного подслоя в рассматриваемых 1 и стандартных условиях 0; τ_w^+ - локальный коэффициент трения. Использование зависимости (3) предполагает наличие известных функциональных связей, определяющих воздействие турбулентности потока за внешней границей пограничного слоя на распределение скоростей по его толщине, на толщину ламинарного подслоя и на профиль касательных напряжений. В практике параметрических методов исследования турбулентного пограничного слоя утвердилось направление, связанное с аппроксимацией поля касательных напряжений. При этом используются два вида аппроксимационных зависимостей. Первый (в форме кубической параболы) применяется в случае замедленных во времени и пространстве потоков, второй (в форме степенного) - для ускоренных потоков. Граничные условия в общем случае при анизотропной турбулентности во

внешнем потоке можно представить так: , , ; , , . (4) Аппроксимационный полином (для случая замедленных потоков) согласно [6] имеет вид: (5)

Определив из условий (4) коэффициенты полинома, получаем: (6) При анизотропной турбулентности во внешнем потоке . Тогда выражение (5) упрощается и принимает следующий вид: (7) Выражение (7) для распределения касательных напряжений по толщине пограничного слоя, учитывающее влияние турбулентности, отличается от выражения (5), которое указанного влияния не учитывает, присутствием дополнительного члена в первой части: , (8) (9) Т.к. величина z относительна и изменяется в пределах от нуля до единицы, то правая часть выражения (8) остается всегда положительной. Это говорит о том, что касательные напряжения в турбулентном потоке с повышением уровня турбулентности возрастают. Профиль касательных напряжений при этом становится более заполненным. В работе [7] на основе анализа обширного экспериментального материала установлено, что параметр Tu , характеризующий уровень турбулентности в потоке, связан с относительной величиной касательных напряжений на внешней границе пограничного слоя следующим приближенным соотношением: , (10) (11) На рис.1 представлены результаты расчета отклонения величин касательных напряжений обусловленного влиянием различных уровней турбулентности внешнего потока. Анализ графика позволяет сделать вывод, что при уровне внешней турбулентности менее 20% ее влияние на величины касательных напряжений и коэффициентов трения проявляется весьма слабо; отклонение указанных параметров находится, очевидно, в пределах точности их экспериментального определения. Рис. 1 - Влияние турбулентности внешнего потока на профиль касательных напряжений в пограничном слое: 1) $Tu = 0,031$; 2) $- 0,0625$; 3) $- 0,125$; 4) $- 0,2$ Их сказанного следует, что и на величину коэффициента расхода сужающего устройства изменение уровня турбулентности в указанных пределах (т.е. $Tu \leq 2\%$) существенного влияния не оказывает. Относительная толщина ламинарного подслоя и скорость на его внешней границе , необходимые для вычисления значения функции определяется в данном случае [8] по следующим формулам: , (12) (13) Что же касается параметра (называемого критерием устойчивости ламинарного подслоя), который входит в (12), то его в функции турбулентности внешнего потока в настоящее время определить не представляется возможным. Однако, результаты работ [5], [7] и [9] показывают, что в диапазоне Tu от 0 до 0,08 величина этого критерия остается практически неизменной, равной значению, которое он имеет при стандартных условиях обтекания. Но при более высоких уровнях турбулентности зависимость начинает проявляться весьма ощутимо: при уровне $Tu = 24\%$ критерий , достигает уже 86 единиц. На рис.2 представлен график зависимости коэффициента трения и параметра от турбулентности внешнего потока. График зависимости от уровня турбулентности происходит весьма интенсивно в диапазоне 0,01. При Tu

около 0,1 (10%) интенсивность изменения заметно ослабевает, и значение коэффициента трения приближается к некоторому предельному стабилизированному значению. Возмущения, поступающие в пограничный слой со стороны внешнего турбулентного ядра, приводит к заметному изменению параметров на границе ламинарного подслоя. Используя алгоритмы расчета приведенные в работах [10,11], а также систему уравнений (11) – (13) рассчитывается относительная величина коэффициента трения, необходимая для определения величин коэффициента расхода. Рис. 2 - Зависимость коэффициента трения и величины от параметра турбулентности внешнего потока. 1) ; 2) . Точки – опыты работ [5], [7] Рис. 3 - Влияние изменения уровня турбулентности потока на входе в расходомерное сопло на величину его коэффициента расхода На графике рис. 3 показано влияние изменения уровня турбулентности потока на входе в расходомерное сопло на величину его коэффициента расхода для трех различных значений критерия Re . График показывает, что изменение параметра Tu в процессе работы расходомера от 0 до 10% приводит к изменению величины коэффициента расхода до 10% при $Re=и$ до 4% при $Re=$. Приведенные данные указывают на необходимость либо снижать тем или иным путем уровень турбулентности потока, поступающего с преобразователя расхода, не менее чем до двух процентов, либо, если это невозможно, стремиться к тому, что бы значения параметра при градуировке расходомера и в условиях его эксплуатации поддерживались примерно одинаковыми.