

Изучение влияния положительного и отрицательного продольных градиентов давления на кинематическую структуру закрученных потоков проводилась на гидродинамическом стенде, описанном в [1, 2]. В качестве рабочих участков использовались два конуса с углами раскрытия 2° и 8° . В двух контрольных сечениях по длине опытных участков на различных расстояниях от входа просверливались отверстия диаметром 1,5 мм для введения измерительного зонда. В качестве рабочей среды использовалась дистиллированная вода. Измерения проводились при значении критерия Рейнольдса 103000. Требуемые условия течения на входе в исследуемый канал обеспечивалось лопаточными направляющими аппаратами, смонтированными в поворотном диске. Для создания закрутки потока использовались три завихрителя, имеющие по 12 направляющих лопаток с конструктивным углом выхода соответственно 30° , 45° и 60° . В опытах регистрировались: расход рабочей среды (по показаниям образцового расходомера), ее температура на входе в опытный участок (по показаниям образцового ртутного термометра с ценой деления шкалы $0,1^\circ\text{C}$), поля полного и статического давлений, а также углов скола вектора скорости в трех различных сечениях опытного участка, отстоящих на различных расстояниях от источника закрутки. Скорости измерялись с помощью одноконального приемника давления, чувствительного к повороту [3]. Он изготавливался из шприцевой иглы наружным диаметром 1,2 мм с толщиной стенки 0,2 мм. Приемное отверстие имело диаметр 0,4 мм и высверливалось на боковой поверхности иглы. Торцевое отверстие запаивалось. Радиальное и угловое перемещение приемника осуществлялось с помощью специального координатника. Точность радиального перемещения зонда 0,05 м; угловое перемещение $0,5^\circ$. Показания приемника относительно опорного давления, отбираемого со стенки опытного участка в выбранной реперной точке, регистрировались водяным U - образным пьезометром с ценой деления шкалы 1 мм. Реперная точка выбиралась из расчета получения оптимального перепада уровней жидкости в пьезометре и для каждой серии опытов была своей. В предварительных экспериментах проводилась тщательная градуировка измерительного зонда. Для этих целей он совместно с координатником устанавливался в выходном сечении сопла, обеспечивающего равномерное поле скоростей и статического давления. Средняя скорость потока в горловине сопла вычислялась на основании показаний образцового расходомера. Чувствительность к скосу потока устанавливалась следующим образом. Приемное отверстие зонда совмещалось с осью сопла и ориентировалось на встречу потоку. Выходной штуцер импульсной линией соединялся с одним из колен пьезометра. Другое колено пьезометра было связано с отверстием для отбора статического давления на стенке сопла в том же сечении. При установившемся режиме течения жидкости в канале зонду придавалось угловое перемещение на половину окружности с остановками через каждый градус для

снятия показаний пьезометра Dh. График зависимости Dh от угла поворота зонда а относительно оси канала, полученный при трех различных режимах течения показано на рис. 1. Рис. 1 - Зависимость показаний гидрометрического зонда от угла поворота оси приемного отверстия относительно направления вектора скорости. Анализ графика позволяет выделить следующие особенности: 1. при повороте оси приемного отверстия зонда на угол 47° относительно направлений потока, воспринимаемый импульс соответствует статическому давлению в мерном сечении (перепад на пьезометре в этом положении зонда равен нулю); 2. наименьшую чувствительность к изменению направления скорости потока зонд показывает в области максимального воспринимаемого импульса (сектор AA'); 3. наибольшая чувствительность наблюдается при изменении угла поворота на 20° и ниже относительно направления течения (сектор A8 и A6). В соответствии с перечисленными особенностями измерительного зонда была принята процедура измерения локальных скоростей закрученных потоков. В каждой контролируемой точке исследуемого канала зонд медленно поворачивался вокруг своей оси до положения, при котором его приемное отверстие воспринимает максимальный импульс давления. Однако, поскольку в секторе AA' рис. 1. зонд мало чувствителен к скосу потока, то здесь при установлении величины возможны большие погрешности. Для более точного определения направления скорости ось приемного отверстия смещалась относительно первого положения на угол 20° . Фиксировалось показание пьезометра в этом новом, втором положении зонда. Далее производилось медленное угловое перемещение в обратном направлении до повторения показания пьезометра, зафиксированного во втором положении. Отклонение биссектрисы угла между вторым и третьим положениями измерительного зонда относительно оси канала принималось за искомую величину. Погрешность в определении значения таким способом по данным проверочных измерений не превышала $\pm 1^\circ$. Для определения давления торможения в каждой контролируемой точке приемное отверстие зонда ориентировалось под соответствующим углом к оси канала. Местное статическое давление фиксировалось при отклонении оси приемного отверстия на угол 47° от этого положения. Опорное давление, подаваемое на пьезометр, в общих случаях оставалось неизменным. По измеренным на разных расстояниях от стенки канала значениям давления торможения, статического давления т углов определились локальные значения вектора скорости и его составляющих , . Строились эпюры распределения этих величин. В каждом контрольном сечении эпюра снималась дважды. Это делалось во избежание неточности отдельных измерений. Результаты осреднялись. Влияние на кинематическую структуру закрученных потоков положительного и отрицательного продольного градиента давления, обусловленного геометрией канала, показано на рисунках 2, 3, 4, 5. Рис. 2 - Влияние отрицательного и положительного продольных градиентов

давления на кинематическую структуру закрученных потоков Рис. 3 - Влияние отрицательного и положительного продольных градиентов давления на кинематическую структуру закрученных потоков

Под действием отрицательного продольного градиента давления происходит заполнение поля осевой составляющей скорости в центральной части канала. В непосредственной близости от стенки значение уменьшается с удалением от направляющего аппарата (рис. 2, 3). Сужение проточной части канала приводит к уменьшению значений тангенциальных компонентов вектора скорости и к более равномерному их радиальному распределению. Положение имеет тенденцию к смещению в сторону оси. Указанные эффекты усиливаются с увеличением угла конусности. Положительный продольный градиент давления также приводит к уменьшению градиента осевой составляющей скорости канала и к смещению максимального ее значения в сторону оси вращения. Радиальное распределение тангенциальных компонентов в диффузоре с углом раскрытия 2° носит то же характер, что и в конфузоре с тем же углом конусности. Изменение кинематической структуры потока в сужающихся и расширяющихся конических каналах при различной степени начальной закрутки иллюстрируют рис. 4 и рис. 5.

Рис. 4 - Изменение кинематической структуры потока в сужающихся и расширяющихся конических каналах с углом раскрытия 2° при различной степени начальной закрутки

Рис. 5 - Изменение кинематической структуры потока в сужающихся и расширяющихся конических каналах с углом раскрытия 8° при различной степени начальной закрутки

В сужающемся канале с углом конусности 2° с увеличением интенсивности начальной закрутки от 30° до 60° происходит увеличение максимального значения осевой составляющей вектора скорости с одновременным смещением по направлению к стенке. В приосевой области значения осевых компонентов уменьшаются. Значения тангенциальных составляющих возрастают по всему радиусу канала. В конфузоре с углом конусности 8° наблюдаются изменения, аналогичные отмеченным выше. Но для профиля осевых составляющих они менее интенсивны, чем для тангенциальных. Увеличение интенсивности закрутки потока на входе в диффузор с углом раскрытия 2° приводит к тому, что величины на осевых компонентах скорости в центральной части канала уменьшаются, а в пристеночной области увеличиваются. При угле раскрытия 8° наблюдается обратная картина. При увеличении угла конусности проточной части интенсивность роста окружной составляющей вектора скорости с увеличением уменьшается.