

В. П. Лебедев, В. И. Терехов, Н. Е. Шишкин

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЯ В ПРИОСЕВОЙ ОБЛАСТИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КАНАЛА ПРИ НАЛИЧИИ ЗАКРУЧЕННОЙ
ПРИСТЕННОЙ СТРУИ

(Институт теплофизики Сибирского отделения АН СССР)

Исследуется перемешивание закрученной пристенной струи с приосевым незакрученным потоком. По результатам измерения температуры и турбулентных пульсаций рассматриваются процессы смешения в приосевой области. Предложена методика обобщения опытных данных разных авторов о температуре на оси. Даются расчетные зависимости как для ламинарного, так и турбулентного режимов течения.

Для реализации ряда процессов в химической технологии и энергетике используется смешение коаксиальных потоков. Осуществление закрутки периферийного потока позволяет более активно воздействовать на проточную часть, приводит к пространственной стабилизации основного потока, что, например, используется в плазмотронах с вихревой газовой стабилизацией дугового разряда, в вихревых горелках.

Локальная подача в пристенную область газа, отличающегося по своим свойствам от газа центральной струи, часто используется для защиты стенки от воздействия высокотемпературного или химически агрессивного потока. Вопросы, связанные с защитой стенки с помощью закрученной газовой завесы, достаточно хорошо изучены. Например, в монографии [1] представлены расчетные зависимости для определения характеристик течения в пристенной области. Изменение же параметров течения в приосевой области исследовано слабо, нет обобщающих критериев, которые объединили бы экспериментальные данные немногочисленных работ разных авторов. Поэтому целью настоящего исследования яв-

ISBN 5-230-16926-5

Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992

ляется проведение анализа известных экспериментальных работ и полученных опытных данных для оценки определяющих факторов, обобщение результатов опытов об изменении температуры на оси канала по предложенным комплексам.

Эксперименты были выполнены на рабочем участке, представляющем собой цилиндрический канал диаметром 46 мм и длиной 9 калибров. Закрутка периферийного потока осуществлялась спиральными ребрами, которые при высоте щели $S = 2,0$ мм имели угол выхода относительно осевого направления, равный $\varphi_s = 0, 58, 74^\circ$.

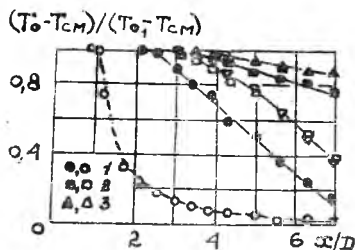
Основной поток воздуха поступал в рабочий участок со среднерасходной скоростью $W_0 = 32 \dots 57$ м/с. Относительный массовый расход периферийного потока воздуха составлял $m = \rho_0 W_0 / \rho_s W_s = 0,125 \dots 5$, где ρ_s и W_s — плотность и среднерасходная скорость на выходе из кольцевой щели.

Взаимодействие двух потоков, их развитие определяется начальными динамическими параметрами и геометрией рабочего участка. К числу основных факторов, от которых зависит процесс смешения потоков в канале, относят режим течения, параметры вдува, отношение плотности газов ρ_s / ρ_0 , степень закрутки, параметр стесненности канала d_0 / D (или S / D), где $d_0 = D - 2S$.

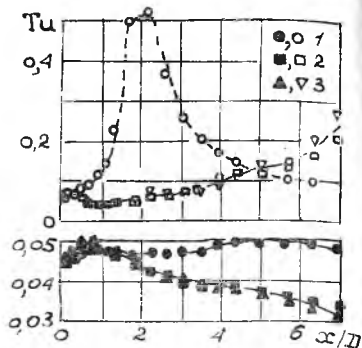
Результаты изменения температуры потока на оси канала в зависимости от относительной координаты приведены на рис. 1. Здесь $T_{см}$ — температура полного смешения периферийного и основного потоков. Области начального участка канала соответствует значение безразмерной температуры T_u , равное единице, а области полного смешения — нулю. Как видно, для незакрученного течения длина начального участка мала (не превышает трех калибров при $m = 2$ и составляет один калибр при $m = 0,2$). В последующей области течения безразмерная температура на оси быстро падает, что указывает на интенсивное перемешивание коаксиальных струй.

Закрутка периферийного потока увеличивает длину начального участка и значительно замедляет снижение температуры далее вниз по потоку. Следует отметить, что для пристенных струй ($m = 0,2$) изменение угла закрутки от $\varphi_s = 58^\circ$ до $\varphi_s = 74^\circ$ не повлияло на течение как в приосевой области, так и вблизи стенки.

Характер изменения температуры на оси при смешении в закрученном потоке можно объяснить воздействием центробежных сил. За-



Р и с. 1. Распределение температуры вдоль оси канала: темные точки - $m = 2$, светлые точки - $m = 0,2$; 1 - $\varphi_s = 0$, 2 - $\varphi_s = 58^\circ$, 3 - $\varphi_s = 74^\circ$



Р и с. 2. Степень турбулентности в приосевой области: $\bullet - m = 2$, $\circ - m = 0,2$, 1 - $\varphi_s = 0$, 2 - $\varphi_s = 58^\circ$, 3 - $\varphi_s = 74^\circ$

крутка создает положительный градиент момента количества движения, который приводит к подавлению пульсаций и стабилизации течения в приосевой области. Об этом свидетельствуют измерения степени турбулентности потока в приосевой зоне (рис. 2).

Как видно из рис. 1, характер поведения температуры газа на оси подобен изменению температуры адиабатической поверхности. Тогда по аналогии с параметром эффективности завесы можно ввести безразмерную температуру на оси $\eta = (T_0 - T_s) / (T_{01} - T_s)$, которая будет определять интенсивность процессов струйного смешения двух потоков в канале.

Исходя из подобия между η и параметром эффективности тепловой защиты стенки и известных формул для расчета последней [1], запишем соотношение распределения η для ламинарного течения

$$\eta = \left[1 + 10,6 Re_s \Delta x / \left(Re_{or}^* \frac{z_0}{D} \right)^2 \right]^{-0,5}, \quad (1)$$

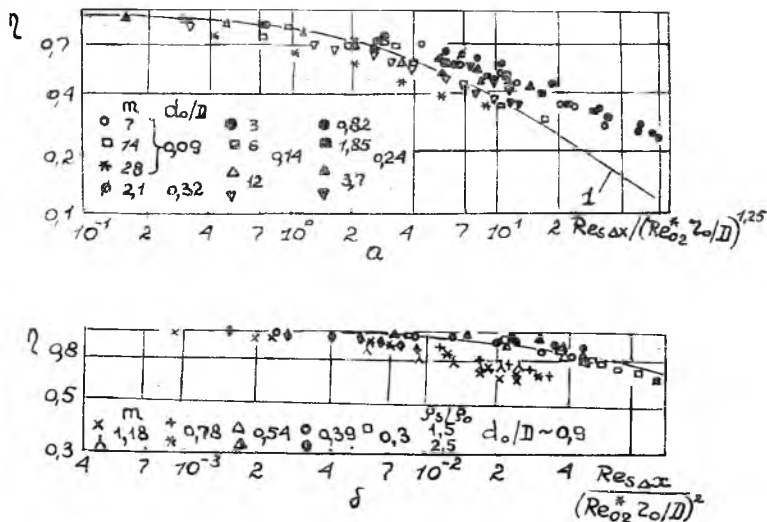
для турбулентного течения

$$\eta = \left[1 + 0,254 Re_s \Delta x / \left(Re_{or}^* \frac{z_0}{D} \right)^{1,25} \right]^{-0,8}. \quad (2)$$

Результаты измерения температуры на оси канала при смешении незакрученного и периферийного потоков при $d_0/D \leq 0,32$ [2] были

обработаны в виде зависимости η от безразмерного комплекса $Re_{\Delta x} \Delta x / (Re_{02}^* z_0 / D)^{1,25}$ для турбулентного режима течения (рис. 3, а).

Опытные данные были получены при достаточно больших числах Рейнольдса $Re_0 \approx 10^5$. Как видно, опытные данные в основном располагаются выше линии I, соответствующей турбулентной зависимости (2), что говорит о подавлении процессов турбулентного обмена в приосевой области. Полагая, что при больших положительных градиентах плотности и циркуляции по радиусу канала происходит ламинаризация процессов смешения, наши опытные данные и результаты опытов [3] представим в обобщенных координатах для ламинарного режима течения (рис. 3, б). Как видно, лучшее совпадение с расчетными значениями получено в опытах, когда параметр $m \leq 0,5$.



Р и с. 3. Сопоставление экспериментальных данных с расчетными для турбулентного (а) и ламинарного (б) режимов течения

Сопоставление данных экспериментального исследования температуры на оси позволяет сделать заключение, что распределение η находится в пределах, описываемых соотношениями (2) для турбулент-

ного режима течения и (I) для ламинарного. Это позволяет в первом приближении оценивать изменение температуры при смешении вращающихся струй в каналах.

Библиографический список

1. Волчков Э.П. Пристенные газовые завесы /Отв. ред. В.П.Лебедев. Новосибирск: Наука, 1983.
2. Лянэ Р., Иванов Ю. Развитие и перемешивание основной струи в осесимметричном закрученном потоке //Изв. АН Эст. ССР. Сер. Физика. Математика. 1971. Т. 20. № 1. С. 58-65.
3. Сухович Е.П. Экспериментальное исследование струйного смешения в ограниченном закрученном потоке //Изв. АН Латв. ССР. Сер. Физ. и техн. наук. 1975. № 2. С. 57-63.

УДК 532.525.2

А.Н.Софронов

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАКРУЧЕННОЙ СТРУИ, ИСТЕКАЮЩЕЙ В СНОСЯЩИЙ ПОТОК

(Рыбинский авиационный технологический институт)

Рассматривается математическая модель истечения закрученной струи в сносящий поток, позволяющая рассчитать форму траектории оси струи. Показана роль закрутки в характере распространения струи. Приведены результаты расчетов.

Закрученная струя, вдуваемая в сносящий поток, может найти применение в качестве аэродинамического стабилизатора, поэтому определение глубины ее проникновения и формы траектории является актуальной задачей [1, 4, 5, 7].

ISBN 5-230-16926-5

Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992