

2. Ш т ы м А.Н. К определению касательного напряжения трения во вращающемся потоке газа. - В сб.: Некоторые вопросы исследования вихревого эффекта и его промышленного применения. - Куйбышев, 1974.
3. Ш т ы м А.Н., У п с к и й В.А. Термодинамический анализ вихревого эффекта Ранка-Хилша. - В сб.: Эффективность теплоэнергетических процессов. - Владивосток, 1976, с.159-170.

УДК 532.527

А.Н.Штым, В.А.Рудницкий

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИСТЕННОЙ ЗОНЫ ТЕЧЕНИЯ ВИХРЕВЫХ УСТРОЙСТВ

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

R, L, r_n - внутренний радиус, длина и радиус диафрагмы вихревой камеры; $A = F_{вх}/2\pi RL$ - относительная площадь входа; h - высота сопла; X - продольная координата, отсчитанная от плоскости среза сопла в окружном направлении; U, r - текущее значение окружной составляющей скорости и радиуса; $U_g = U_g, r_g$ - окружная составляющая скорости и соответствующий радиус на границе пограничного слоя по условию $d(Ur)/dr=0$; $Re_R = U_{g0}R/\nu$ - критерий Re_R на входе потока в пристенную зону; $C_f = 2\tau_w/\rho_g U_g$ - местный коэффициент поверхностного трения.

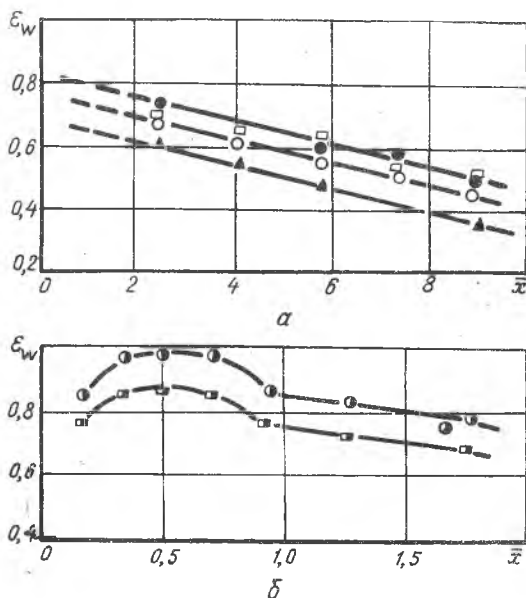
Течение в пристенной зоне ВК определяется конструкцией соплового аппарата и влиянием поверхностных сил трения на процесс слияния входящей струи с вращающимся в камере потоком.

В работе [1] было обосновано деление закрученного потока в камере на две зоны: пристенную и ядро потока - с привлечением критерия устойчивости Рэлея. За границу пристенной зоны принималась поверхность, определяемая из условия максимума циркуляции тангенциальной составляющей скорости. Такой подход явился основой

эмпирического определения параметров пристенной зоны, когда коэффициент $K\eta = \tau_{я}/R$ задает границу-ядро, а потеря механической энергии в этой зоне выражается с помощью коэффициента сохранения скорости $\epsilon_w = U_{я}/U_{вх}$.

Исследование структуры потока в шести сечениях ВТ с шестилепестковым вводом позволило сделать вывод о возможности распространения на ВТ общей методики расчета циклонно-вихревых камер [2], использующей эмпирические соотношения.

Как видно из рис. 1, а, потеря энергии в пристенной зоне ВТ существенно зависит от чисел \mathcal{L} и μ . Изменение этих параметров определяет, в первую очередь, потери энергии в сопловом аппарате, которые сопоставимы с потерями на трение и достигают 40%.



Р и с. 1. Зависимость коэффициента сохранения скорости по длине ВТ: а) влияние μ и \mathcal{L} на изменение коэффициента сохранения скорости ϵ_w по длине вихревой трубы ($r_n/R=0,5$; $F_c = F_{вх}/\pi R^2 = 0,092$; $L=L/2R=9$); б) изменение ϵ_w по длине циклонной камеры в зависимости от относительной площади ввода воздуха ($r_n/R=0,5$; $L=2$)

Потери энергии по длине трубы значительны, достигают 30% и имеют близкий к линейному характер.

Сопоставление потерь энергии по длине ВТ и циклонной камеры двух калибров [3] позволяет констатировать родственность процессов, протекающих в их пристенной зоне (рис. 1, б).

Опытные данные обобщены следующими зависимостями:

для циклонных камер

$$\varepsilon_w = 112,4 A \bar{L}' - 1523 (A \bar{L}')^2 - 12300 (A \bar{L}')^3 - 1,34 \left(\frac{z_n}{R} - 0,5 \right)^2, \quad (1)$$

где $\bar{L}' = (L/2R)^{0,457}$;

для ВТ

$$\varepsilon_w = 0,6158 + 0,0304 \bar{x} + 0,078 \pi + 0,029 \mu. \quad (2)$$

Однако эмпирический метод имеет известные ограничения и недостатки, хотя для циклонно-вихревых камер сложной конфигурации он является единственно возможным.

Для обычных циклонно-вихревых камер в работе [4] предложен полуэмпирический метод расчета пристенной зоны как своеобразной двумерной полуограниченной струи в спутном потоке, где спутным является ядро вихревого потока, а K_p и ε_w определяются из расчета пристенной зоны.

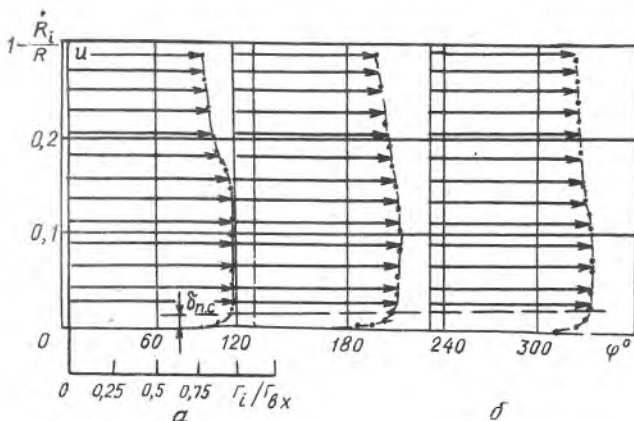
Такой подход позволяет рассчитать изменение параметров пристенной зоны под влиянием сил трения. Однако в работе [4] без эксперимента и обоснования принимается закон сопротивления $C_f = \text{const} = 0,002$, определяющий точность расчета в целом.

Ранее нами было показано [5] существенное влияние ряда факторов на величину C_f в циклонно-вихревой камере.

Результаты обобщения экспериментального закона сопротивления с учетом режимных и конструктивных характеристик камеры с односторонним вводом воздуха имеют вид

$$C_f = 0,972 Re_R^{-0,465} \left(\frac{z_n}{R} \right)^{0,365} \left(\frac{h}{R} \right)^{-0,130} \left(\frac{x}{R} \right)^{0,283} \quad (3)$$

Детальное исследование потока в пристенной зоне позволило уточнить расчетную схему, предложенную в работе [4]. Так, при определенной относительной высоте сопла пристенная струя должна рассчитываться по соответствующей схеме (рис. 2, а). Исследование поля циркуляции и полной энергии в сечении за сопловым аппаратом позво-



Р и с. 2. Характеристики пристенной струи и потери энергии в пристенной зоне соплового сечения: а) развитие струи в пристенной области вихревой камеры и ее основные параметры ($r_n/R = 0,5$; $L = 1$); б) потери циркуляции в сопловом аппарате вихревой камеры $L = 1$ при его регулировании язычковым шибром для различных пережимов

лило определить потери энергии за ним в зависимости от высоты сопла, регулируемого язычковым шибром (рис. 2, б).

Имеет место скачкообразное падение момента и энергии в малой области за сопловым аппаратом, что позволяет рассматривать потери энергии на входе в аппарат как потери на своеобразный газодинамический "удар". Интересно отметить, что характер этих потерь не зависит от пережима камеры.

Л и т е р а т у р а

1. Ш т ы м А.Н., М и х а й л о в П.М. К аэродинамике закрученного потока в циклонно-вихревых камерах. - Изв. вузов. Энергетика, 1965, № 4, с. 50-53.
2. Ш т ы м А.Н. Номограммный метод расчета циклонно-вихревых камер. - В сб.: Эффективность регулирования теплоэнергетических процессов. Владивосток, 1978, вып. I, с. I70-I78.

3. Рудницкий В.А. О коэффициенте сохранения скорости в расчетах циклонно-вихревых камер. - В сб.: Эффективность теплоэнергетических процессов. Владивосток, 1978, вып. I, с. 125-133.
4. Лукьянович Т.К. Исследование аэродинамики периферийной зоны циклонно-вихревых камер. - Канд. диссертация. Л., 1975.
5. Штым А.Н., Рудницкий В.А. К расчету пристенной зоны циклонно-вихревых камер. - Тезисы докладов X Всесоюзной конференции по циклонным энерготехнологическим процессам. М., 1978, с. 47.

УДК 533.697.3

Ю.А.Кныш

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЯВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПЕРЕНОСА В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

Физическая природа явления разогрева периферийных слоев газа в ВТ до сих пор не получила своего исчерпывающего объяснения. Это связано с исключительной сложностью и многообразием процессов, сопровождающих течение сильно закрученных потоков: большие радиальные градиенты давления; высокий уровень сдвиговых напряжений, порождающий вторичное турбулентное вихреобразование; регулярные пульсации давления и скорости в потоке.

Рассматривая процесс передачи кинетической энергии от исходного периферийного потока к вихревому ядру, многие исследователи отмечают на значительном участке трубы аномально высокий уровень турбулентности вблизи границы разделения потоков. На периферийном участке трубы и в центре уровень турбулентности значительно ниже. Указанная особенность наводит на мысль о том, что в сильно закрученном потоке существуют механизмы, разрушающие турбулентные вихри при их движении от области зарождения к периферии или центру. Наиболее вероятной причиной подавления турбулентных вихрей может быть действие радиального градиента давления.

Будем рассматривать турбулентный вихрь как некоторую автоном-