

длина реакционной зоны $L_{\text{тр}} = 60 D_{\text{тр}}$;
смещение низа диафрагмы относительно сопла $H/D_{\text{тр}} = 0,5$.

Такой реактор с вихревой реакционной зоной диаметром $D_{\text{тр}} = 4,8 \cdot 10^{-2}$ м испытывался при фторировании смеси оксидов РЗЭ при расходах фтора 35...40 нм³/ч. Состав смеси оксидов РЗЭ следующий: La_2O_3 - 23...25; CeO_2 - 50...55; $R_{26}O_{11}$ - 6...9; Nd_2O_3 - 13...16%, сумма оксидов остальных РЗЭ составляет 1-2 %, доля примесей (сульфатов кальция, железа и окиси кремния) - 1+3 %. Получены кондиционные фториды, степень превращения по сумме фторидов РЗЭ составляла 99,3 %.

Вихревой реактор легко выводится на стационарный режим, прост в управлении, экономичен в использовании фтора. Полученные данные могут использоваться в практических расчетах и конструировании оборудования.

Библиографический список

1. Архипов В.А., Ротанов Г.С. Исследование структуры гетерогенных потоков по данным рассеяния света //Тр.НИИ прикладной механики и математики.-Томск: Изд-во Томского госуниверситета, 1973. Вып. 2. С.3-8.
2. Ринкевичус Б.С. Допплеровский метод измерения локальных скоростей с помощью лазеров//Успехи физических наук, 1973. Т.3. Вып.2. С.305-330.
3. Халатов А.А., Щукин В.К., Летагин В.Г. Локальные и интегральные параметры закрученного течения в длинной трубе//ИФЖ, 1977. Т. XXXIII. № 2. С.224-232.
4. Карелин А.И., Колмаков А.Д., Сваровский А.Я., Зурер А.Б., Соловьев А.И. Исследование процесса фторирования оксидов РЗЭ в вихревых потоках //Торение конденсированных систем. Черногловка: Ин-т химической физики АН СССР, 1977. С. III-III3.

УДК 532.517.4+536.24

А.А.Халатов, И.М.Загуменнов

ГИДРОДИНАМИКА И ТРЕНИЕ НА ТОРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ

Вихревые камеры широко используются в сепарационных и диспергирующих устройствах, камерах сгорания, эжекторах, различной тепло-

массообменной аппаратуре. В настоящее время достаточно исследовано течение на боковой (вогнутой) поверхности. Расчет течения на торцевых поверхностях затруднен из-за отсутствия надежных данных.

Особенностью течения в вихревой камере является образование мощных радиальных течений на торцевых стенках, направленных к центру камеры. Эти течения вызваны нескомпенсированностью радиального градиента давления вблизи торцевых стенок камеры. Таким образом, в вихревой камере на торцевых поверхностях существуют пространственные пограничные слои. При этом возможны два режима течения: развивающийся (с проточной зоной в ядре потока) и развитый (с нулевой радиальной скоростью в ядре). Последний режим возникает в случае, когда весь расход проходит через пограничные слои.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование аэродинамики вихревой камеры и получение зависимостей для расчета течения на торцевых поверхностях вихревой камеры.

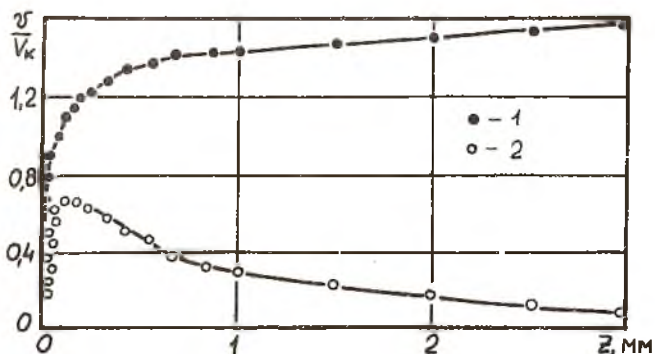
Исследования проводились на торцевых поверхностях цилиндрической вихревой камеры. Воздух подавался через восемь тангенциальных щелевых каналов с высотой, равной высоте камеры, и равномерно распределенных по боковой поверхности, и отводился через отверстие диаметром 25 мм в центре одной из крышек. Радиус камеры $R_k = 66,5$ мм, высота 27 мм, суммарное сечение подводящих каналов 1250 мм².

Гидродинамика исследовалась с помощью термоанемометра ТА-15 производства Днепропетровского государственного университета. Нить датчика выполнялась из позолоченной вольфрамовой проволоки диаметром 5 мкм, длина нити около 2 мм. Датчик устанавливался в координатном устройстве, обеспечивающем перемещение по высоте пограничного слоя и поворот датчика вокруг оси. Суммарное касательное напряжение на стенке определялось методом "трубка-выступ" с помощью микротрубки диаметром 1 мм, выдвигаемой над поверхностью торцевой крышки на высоту 0...0,4 мм. Давление измерялось микроманометром ММ-250 с точностью, не превышающей 0,1 Па.

Эксперименты проводились в диапазоне изменения числа Рейнольдса $Re_k = V_k R_k \rho$ от $3 \cdot 10^4$ до $12 \cdot 10^4$ при числе Россби $Ro = Q_k / V_k R_k^2$, равном 0,28, здесь V_k - тангенциальная скорость на периферии камеры, Q_k - объемный расход газа.

Вектор скорости потока в пограничном слое на торцевой поверхности характеризуется радиальной v_r и тангенциальной v_τ компонентами. При удалении от стенки величина v_r вначале возрастает, достигая максимального значения $v_{r\max}$ в точке δ_m , а затем убывает

до значения v_{r0} в ядре потока. Тангенциальная скорость при удалении от стенки возрастает до значения $v_{\theta 0}$ в ядре потока (рис.1).



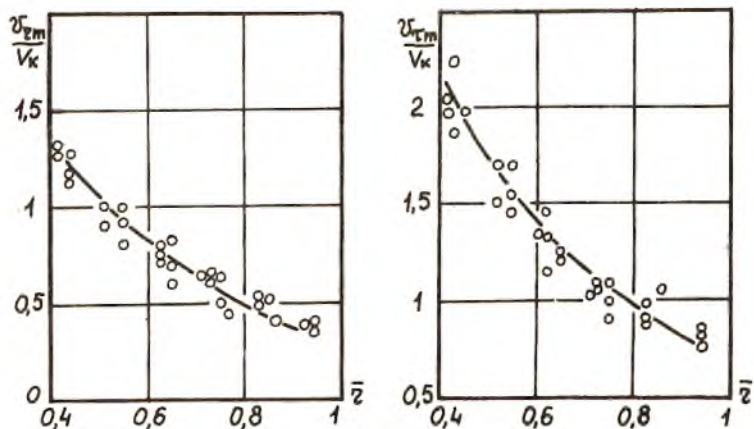
Р и с. 1. Профиль тангенциальной (1) и радиальной (2) компоненты скорости по высоте пограничного слоя ($Re_x = 8,8 \cdot 10^4$, $F = 0,73$)

Угол закрутки потока $\alpha = \arctg(v_r/v_\theta)$ по высоте z сначала увеличивается от значения α_{cr} до значения α_m в точке δ_m , а затем уменьшается до величины α_0 в ядре потока. При постоянном значении Re_x в зоне развивающегося течения v_{rm} , $v_{\theta 0}$ и α_m увеличиваются с уменьшением безразмерного радиуса $F = r/R_k$. При увеличении Re_x и постоянстве F величины v_{rm} и $v_{\theta 0}$ увеличиваются, а величина α_m остается примерно постоянной.

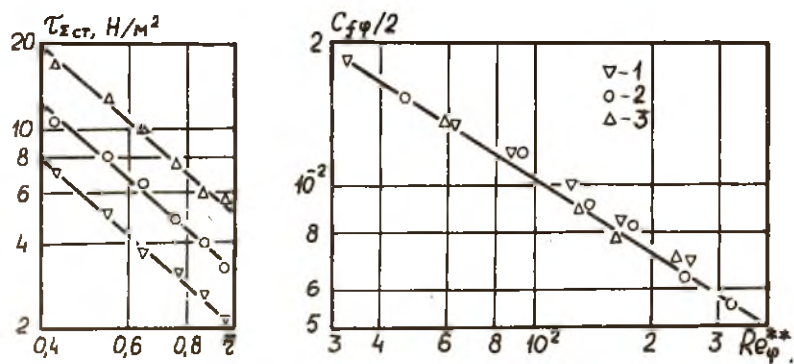
При использовании в качестве масштаба V_k безразмерная радиальная v_{rm}/V_k и тангенциальная $v_{\theta m}/V_k$ скорости в точке δ_m зависят только от безразмерного радиуса F (рис.2). По высоте z окружная скорость v_θ изменяется по закономерностям сдвигового течения, радиальная - по закономерностям затопленной струи.

Исследование трения на стенке показало, что суммарное касательное напряжение $\tau_{\Sigma cr}$ увеличивается с уменьшением F и увеличением Re_x (рис.3). Радиальная τ_{rcr} и тангенциальная $\tau_{\theta cr}$ составляющие определялись с учетом среднего в пристенной части струи значения угла закрутки α_{cp} . Коэффициенты трения в радиальном и тангенциальном направлении определены по зависимостям

$$C_{fz}/2 = \tau_{rcr}/\rho v_{im}^2; \quad C_{f\theta}/2 = \tau_{\theta cr}/\rho v_{im} v_{\theta 0}$$



Р и с. 2. Изменение безразмерной радиальной (а) и тангенциальной (б) скорости в точке максимума u_m
 ($Re_x = 6,1 \cdot 10^4 \dots 12,1 \cdot 10^4$)



Р и с. 3. Суммарное касательное напряжение на стенке (а) и закон трения в тангенциальном направлении (б):
 1 - $Re_x = 6,1 \cdot 10^4$, 2 - $8,8 \cdot 10^4$, 3 - $12,1 \cdot 10^4$

Коэффициенты трения обобщались в форме законов трения для радиальной и тангенциальной компоненты. Полученные уравнения имеют следующий вид: $C_{fr}/2 = 0,037 Re_r^{** - 0,25}$; $C_{\varphi}/2 = 0,1 Re_{\varphi}^{** - 0,25}$, где $Re_r^{**} = \overline{v_{rm}} \delta r^{**} / \nu$; $Re_{\varphi}^{**} = \overline{v_{rm}} \delta \varphi^{**} / \nu$; δr^{**} , $\delta \varphi^{**}$ - толщины потери импульса в радиальном и тангенциальном направлениях.

Приведенные результаты позволяют рассчитать аэродинамику и поверхностное трение на торцевых поверхностях вихревой камеры в условиях развивающегося течения.

УДК 533.6.011

С.И.Осташев, Э.Н.Сабуров

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЗАИМОСВЯЗИ ТУРБУЛЕНТНЫХ
И ОСРЕДНЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА В ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ

Рассмотрено приближенное решение задачи о движении газов в вихревой камере кольцевого поперечного сечения, основанное на известном представлении о потоке в расчетной зоне (ядре) как о вращающейся турбулентной струе, пограничный слой которой обращен к вставке. Компоненты турбулентных напряжений $\rho \overline{v_r' v_r'}$ и $\rho \overline{v_{\varphi}'^2}$ в системе уравнений осесимметричного турбулентного пограничного слоя определялись в соответствии с гипотезой Прандтля о возможном обобщении теории, основанной на понятии длины пути перемешивания, на трехмерные поля осредненных и пульсационных скоростей [1]. Предложенные в работе [2] формулы для связи длины пути перемешивания ℓ с радиальной координатой r (с точки зрения повышения достоверности расчетных соотношений для осевой и радиальной составляющих скорости, распределения давления и турбулентного трения в потоке) не имеют преимуществ перед известной и использованной в дальнейшем в работе зависимостью $\ell = \alpha_0 r$ (α_0 - коэффициент, характеризующий турбулентную структуру потока).

Решение уравнений турбулентного пограничного слоя относительно $\overline{v} = \overline{v_r} / \overline{v_{cm}}$, $u = \overline{v_z} / \overline{v_{cm}}$, $\rho = 2\rho_c / \rho \overline{v_{cm}^2}$ при известных аппроксимациях $\omega = \omega(r)$ ($\omega = \overline{v_{\varphi}} / \overline{v_{cm}}$) $\alpha_0 = \alpha_0(r, b, n)$ позволяет найти их распределения по радиусу и длине камеры: