

## Л и т е р а т у р а

1. В ы р у б о в Д.Н. Теплопередача и испарение капель. ЭТФ, 1974, № 9.

2. Ф р а н к - К а м е н е ц к и й Д.А. Теплопроводность и диффузия в химической кинетике. АН СССР, 1947.

3. И л ь я ш е н к о С.М., Т а л а н т о в А.В. Теория и расчёт прямооточных камер сгорания. М., "Машиностроение", 1964.

4. Р а у ш е н б а х Б.В. и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. М., "Машиностроение", 1964.

5. Экспресс-информация " Поршневые и газотурбинные двигатели". 1974, № 37.

В.Т. Волов, Н.Д. Колышев, В.Г. Шахов

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЛЬНО-КОЛЬЦЕВЫХ ДИФфуЗОРОВ С ЗАКРУЧЕННЫМ ПОТОКОМ

### Принятые обозначения

$F_c$  - площадь сопел

$S = \pi D_{тр}^2 / 4$  - площадь поперечного сечения труб

$D_{тр}$  - диаметр труб  $\bar{F}_c = F_c / S$

$D_\partial$  - диаметр диффузора  $\bar{D}_\partial = D_\partial / D_{тр}$

$R_\partial$  - радиус диффузора  $\bar{R}_\partial = R_\partial / D_{тр}$

$L_{тр}$  - длина труб  $\bar{L}_{тр} = L_{тр} / D_{тр}$

$z_0$  - начальный радиус диффузора  $\bar{z} = z / z_0$

$W$  - полная скорость потока

$W_r$  - радиальная скорость

$W_c$  - окружная скорость

$a_{кр}$  - критическая скорость звука  $\lambda = W / a_{кр}$ ;  $\lambda_r = W_r / a_{кр}$ ;  $\lambda_c = W_c / a_{кр}$

$\lambda_{R_0}, \lambda_{\tau_0}$  — относительная радиальная и окружная скорость на входе в диффузор

$\rho_1^*$  — полное давление на входе в трубу

$\rho_a$  — атмосферное давление

$\rho_{oc}$  — давление на оси трубы  $\Delta \rho_{oc} = \rho_a - \rho_{oc}$

$\mathcal{L}^* = \frac{\rho_1^*}{\Delta \rho_{oc}}$  — степень разрежения в вихре  $\mathcal{L} = \frac{\rho_1^*}{\rho_a}$

$\kappa$  — показатель адиабаты

$\rho_0$  — плотность заторможенного потока

$p_0$  — давление заторможенного потока

$\rho_{\delta x}$  — плотность потока на входе в диффузор

Известно, что вихревые аппараты имеют низкий к.п.д. При фиксированных геометрических параметрах вихревого аппарата качество работы самовакуумирующейся вихревой трубы (с.в.т.) будет целиком зависеть от качества раскруточного диффузора. Представленная работа посвящена вопросу улучшения характеристик радиально-кольцевых диффузоров и уменьшению их габаритов. Разработана методика построения изогradientных радиально-кольцевых диффузоров и экспериментально проверена их совместная работа с вихревой трубой.

Первоначально проводилась проверка работы плоского радиально-кольцевого диффузора, установленного на с.в.т. длиной 1,85 калибра. С.в.т. представляет собой вихревую трубу с закрытым холодным концом, которая предназначена для охлаждения цилиндрических тел и получения высокого вакуума. Короткая с.в.т. с открытым холодным концом представляет собой вакуум-насос. Диаметр диффузора — 5,12 калибра трубы; относительная площадь сопел  $\bar{F}_c = 0,1$ ; относительный радиус диффузора  $\bar{R}_d = 0,17$ .

Температура сжатого воздуха на входе в трубу поддерживалась постоянной. При помощи дренирования измерялись поля полных и статических давлений в шести точках по радиусу диффузора, а также направление вектора скорости и давления на оси трубы. Датчик полного давления представляет собой трубку диаметром 0,6 мм с приемным отверстием 0,2 мм. Учет ошибок при измерении производился по статье [1]. При экспериментальном исследовании на плоскости диска диффузора наблюдались три шнура от трехсоплового входа вихревой

трубы. На внешней и внутренней щеках диффузора наблюдались обратные токи, которые возникали за счет больших градиентов статического давления. Зная преимущества изогradientных диффузоров (малые габариты и безотрывность течения), построим изогradientный радиально-кольцевой диффузор.

Так как зазор между стенками диффузора мал, примем течение в зазоре двумерным: в окружном и радиальном направлении. Для решения задачи запишем систему уравнений:

$$\lambda_r d\lambda_r / d\bar{z} - \lambda_r^2 / \bar{z} = - d\rho / dz \cdot z_0 / \rho a_{kr}^2; \quad (1)$$

$$\lambda_r = \lambda_{r0} / \bar{z}; \quad (2)$$

$$\lambda_r = \lambda_{r0} \rho \delta x / (\bar{z} \Delta \rho); \quad (3)$$

$$\rho / \rho_0 = \left(1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \lambda^2\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}. \quad (4)$$

$$\rho / \rho_0 = \left(1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \lambda^2\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}. \quad (5)$$

Подставляя в уравнение движения (1) уравнения (2), (3) и газодинамическую функцию (5), получаем уравнение для определения зазора диффузора  $\bar{\Delta} = f(\bar{z}, A, \lambda_{r0}, \lambda_{z0})$

$$\bar{\Delta} = z^2 d\lambda_r^2 / d\bar{z} \left[ \left(1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} (\lambda_r^2 + \lambda_{z0}^2 / \bar{z}^2)\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} - \bar{\Delta} \bar{z}^3 \right]' / (2\lambda_r \bar{B}); \quad (6)$$

$$\bar{A} = Az_0 / (\rho_0 \lambda_{z0}^2 a_{kr}^2); \quad \bar{B} = \lambda_{r0} \left(1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \lambda_{z0}^2\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} \lambda_{z0}^2;$$

$$A = d\rho / dz.$$

Используем вторую газодинамическую функцию (4), помня, что

$$\frac{d\rho}{dz} = const, \text{ получаем}$$

$$d\lambda_r^2 / d\bar{z} = 2 \left[ -Az_0 / (2\rho_0) \left(1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} (\lambda_r^2 + \lambda_{z0}^2 / \bar{z}^2)\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} + \lambda_{z0}^2 / \bar{z}^3 \right]. \quad (7)$$

Уравнение (7) решаем методом Рунге-Кутты. Найденные значения  $\lambda_r^2$  и  $d\lambda_r^2 / d\bar{z}$  подставляем в уравнение (6) и определяем зазор диффузора.

Для входной скорости  $\lambda_0 \leq 0,5$  решение задачи можно получить в квадратурах. После разложения уравнения (7) в ряд Тейлора, пренебрегаем всеми членами выше второго и решив его, получим

$$\lambda_r = \left(\exp(-c(\bar{z}-1)) \left[ \lambda_{r0}^2 + \int \exp(c(\bar{z}-1)) c_2 d\bar{z} \right]^{1/2}\right); \quad (8)$$

$$c = \frac{Az_0}{\rho_0 \kappa}; \quad c_2 = c(\kappa+1) + \lambda_{z0}^2 c / \bar{z}^2 - 2\lambda_{z0}^2 / \bar{z}^3.$$

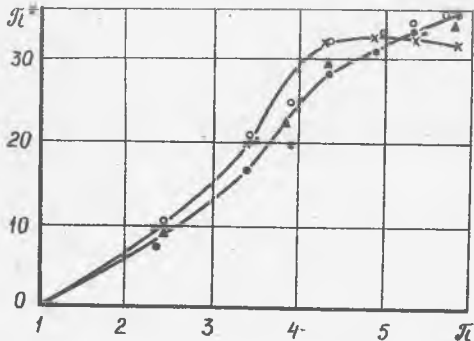
Варьируя величинами  $\lambda_{\rho 0}, \lambda_{\tau 0}, A, z_0$  можно получить профили изогradientных радиально-кольцевых диффузоров, которые соответствуют различным расходам, углам закрутки и градиентам давления.

Численные расчеты показали, что первоначально в изогradientном диффузоре радиальная скорость возрастает (т.е. для радиальной составляющей имеется конфузурный участок), а затем интенсивно падает. Конфузурный участок для радиальной составляющей скорости приводит к предотвращению или ослаблению отрыва газа от стенок, т.е. делает поток в диффузоре более устойчивым.

Используя данные замеров скорости и угла закрутки на входе плоского радиально-кольцевого диффузора (при  $\pi = 5$ ), были рассчитаны и изготовлены изогradientные диффузоры. Экспериментальная проверка показала, что изогradientный диффузор  $\bar{D}_d = 2,31$  на расчетных режимах работы вихревой трубы не уступает плоскому радиально-кольцевому  $\bar{D}_d = 5,12$  (рис.1).

Р и с. 1. Исследования изогradientных диффузоров  
 $F_c = 0,1$ ;  $L_{mp} = 1,85$ ;  $T_r = 293 K$ ;  
 $x = D_d = 5,12$ ;  $\Delta = 0,1$

- $\bar{D}_d = 5,12$  проф.  $\bar{\Delta}_{\omega} = 0,0434$ ;
- $\bar{D}_d = 2,31$  проф.  $\bar{\Delta}_{\omega} = 0,0434$ ;
- ▲—  $\bar{D}_d = 4$  проф.  $\bar{\Delta}_{\omega} = 0,058$



### Выводы

1. Разработана методика построения радиально-кольцевых изогradientных диффузоров, которые позволяют значительно уменьшить габариты (максимально в 2 раза) и улучшить характеристику диффузора на определенных режимах.

2. Получены зависимости степени расширения газа в вихре с.в.т от профилировки диффузора.

3. Предложенная методика позволяет более широко внедрять вихревые аппараты в авиационной технике и народном хозяйстве.

### Л и т е р а т у р а

1. З а й ч е н к о Е.И., А б о л т и н Э.В. Особенности измерения параметров потока цилиндрическим зондом в безлопаточном диффузоре малоразмерного центробежного компрессора. "Энергомашиностроение", № 2, 1973.

2. М е р к у л о в А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М., "Машиностроение", 1965.

В.Я. Ниязов, Л.П. Мыльцев

### ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАКРУТКИ ПОТОКА НА РАСХОДНЫЕ И ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРЫ

В ряде практически важных задач по созданию тепловых аппаратов остро стоит вопрос об ограничении их линейных габаритов. Единственный способ уменьшения габаритов - применение принципа вихревого сгорания топлива.

Аэродинамическая структура потока в стационарных аппаратах тепловой энергетики в настоящее время изучена достаточно полно. Данная же работа посвящена исследованию таких аппаратов, в которых на выходе скорость газа достигает или превосходит скорость звука.

Ранее в работе [1] были описаны полученные для невязкого течения газа дифференциальные уравнения первого порядка с целью определения функции тока  $\psi(z)$  и числа Маха. Задача была решена для осесимметричного одномерного течения совершенного газа (рис.1).

Система уравнений для этого случая имеет вид:

$$\frac{dMa}{dt} = \frac{1 + \frac{\kappa-1}{2} Ma^2}{\kappa Ma \rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{1 + \frac{\kappa-1}{2} Ma^2}{Ma (1 - \frac{t^2}{\alpha^2})} \left[ \frac{2}{\kappa-1} \frac{c \ell^{-c y}}{1 - \ell^{-c y}} \frac{dy}{dt} + \frac{Ma^2}{(1)} \right]$$
$$\frac{d\psi}{dt} = 2Mat \frac{F_a}{F_{kp}} \frac{a'_0}{a_0} \frac{\rho_0}{\rho'_0} \left[ \frac{1 - \frac{\alpha^2}{t^2}}{1 + \frac{\kappa-1}{2} Ma^2} \right]^{\frac{\kappa-1}{2}}$$