

В.И.Епифанова, О.А.Ивакин, В.К.Костин

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ВИХРЕВОГО ЭЖЕКТОРА

П р и н я т ы е о б о з н а ч е н и я

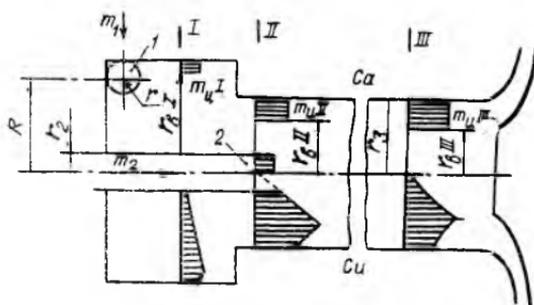
$\bar{r} = \frac{r}{R}$ - приведенный радиус; R - средний радиус входа потока скатого газа в БЭ; $n = \frac{m_2}{m_1}$ - коэффициент эжекции; σ_i , σ_{i-j} - коэффициент потерь полного давления в сечении i или на участке $i-j$; $\psi = 1 - \bar{r}_3^2 / \bar{r}_3^2$ - параметр, характеризующий величину циркуляционной области; $B = \sqrt{\kappa \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}}$ - коэффициент в уравнении расхода.

И н д е к с ы

1, 2, I, II, III - сечения сопел активного и пассивного потоков, расчетные сечения; 3, 6, 4, ш - параметры газа на радиусах камеры смешения и вынужденного вихря в циркуляционной и присоединенных областях.

Наряду с ВТ, все большее внимание привлекают вихревые эжекторы (БЭ), применение которых позволяет получить преимущество по сравнению с прямотруйными аппаратами. Известно, что при работе БЭ, как и ВТ, используется наличие неоднородности термодинамических параметров потока по радиусу сечения рабочего пространства, в частности, понижение статического давления в направлении оси. Для построения физической модели БЭ использованы экспериментальные данные, опубликованные в [1, 2]. Первые результаты проводимой работы были опубликованы в [3].

Во вращающемся потоке нами различаются две области течения: с постоянной циркуляцией (свободный вихрь) и с постоянной угловой скоростью вращения (вынужденный вихрь), разделяемые радиусом вихревого шнура r_s , причем газовый поток m_4 , движущийся в направлении диффузора, целиком проходит в области свободного вихря. Движение является осесимметричным, распределение газодинамических параметров в расчетных сечениях соответствует изоэнтропе.



Р и с. 1. Схематичное изображение ВЭ и эпюры скоростей в рабочем пространстве

Так как длина камеры смешения ВЭ мала (1-3 калибра), в области вынужденного вихря предполагается отсутствие возвратного осевого течения газа.

Схематичное изображение проточной части ВЭ, эпюры осевых (C_a) и окружных (C_u) скоростей, распределение потоков газа показано на рис. 1. Нами рассматриваются три расчетных сечения.

Расчет первого сечения (I) позволяет определить высоту каналов многосоплового тангенциально-осевого ввода (равную радиальной протяженности циркуляционной области) и, при известной площади f_c и форме каналов, их количество, а также угол наклона оси сопла к плоскости поперечного сечения камеры захвращения, соответствующий средней закрутке потока в области свободного вихря.

Второе расчетное сечение (II) располагается вблизи среза низконапорного сопла в камере смешения ВЭ. Расчет параметров потока в этом сечении позволяет определить вакуумирующую способность ВЭ и давление на срезе сопла пассивного потока. Пассивный поток вводится без закрутки и подмешивается к активному потоку, текущему в области свободного вихря на участке между сечениями-II и III.

В третьем расчетном сечении (III), находящемся на выходе из камеры смешения, в области свободного вихря протекает смесь активного и пассивного потоков. Диффузорный участок нами не рассчитывается, изменение параметров газа в нем оценивается на основании имеющихся в литературе экспериментальных данных.

Уравнения для расчета параметров газа, принцип получения которых достаточно подробно изложен в работе [3], для наиболее общего случая (в сечении III) записываются следующим образом:

$$T_u = \frac{T_u(\bar{r})}{T_{0III}} = 1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \left[\frac{\lambda_{u1}^2}{(1+n)^2 \theta_2 \bar{r}^2} + \lambda_{a1}^2 \right]; \quad \theta_2 = \frac{T_{0III}}{T_{01}} = \frac{1+n\theta_1}{1+n};$$

$$n = \frac{\bar{p}_3 \sigma_2 q (\lambda_2) \bar{F}_2^2}{\sigma_1 q (\lambda_1) \bar{F}_1^2 \sqrt{\theta_1}} ; \rho_3 = \frac{P_{02}}{P_{01}} ; \theta_1 = \frac{T_{02}}{T_{01}} ;$$

$$\lambda_{ac} = \frac{(1+n) B \sigma_1 q (\lambda_1) \bar{F}_1^2 \sqrt{\theta_2}}{\sqrt{\frac{2K}{K+1}} \sigma_{1-III} \psi \bar{p}_{cp} \bar{F}_3^2} ; \bar{p}_{cp} = \frac{2}{\bar{F}_3^2 - \bar{F}_6^2} \int_{\bar{F}_6}^{\bar{F}_3} \bar{p}(\bar{F}) \bar{F} d\bar{F} ;$$

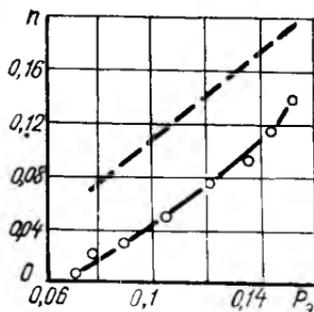
$$\bar{T}_w = \frac{T_w(\bar{F})}{T_{0II}} = 1 - \frac{K-1}{K+1} \left[\frac{\lambda_{u1}^2}{(1+n)^2 \theta_2 \bar{F}_6^2} \left(2 - \frac{\bar{F}^2}{\bar{F}_6^2} \right) + \lambda_{ac}^2 \right].$$

Для определения границы свободного вихря используется уравнение (I), полученное из условия минимизации скорости газа на внутренней граничной трубке тока:

$$\Gamma = \frac{\bar{F}_1^2}{\bar{F}_3^2} = \frac{\lambda_{ac}^3}{\lambda_{u3} (3 - 2\lambda_{ac}^2)} \left[\frac{\bar{p}_3}{\bar{p}_1} + \frac{K+1}{K-1} \frac{\lambda_{u6}^2}{\lambda_{u6}^2} \frac{\bar{p}_6}{\bar{p}_1} (1 - \psi) \right]. \quad (I)$$

Решение системы уравнений реализовано на ЭВМ "МИР-I" и ЕС-1022. На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований ЭЭ следующей геометрии:

$\bar{F}_1 = 0,429$, $\bar{F}_2 = 0,491$, $\bar{F}_3 = 0,893$. Пунктиром показана расчетная зависимость $n(\bar{p}_3)$.



Р и с. 2. Зависимость коэффициента эжекции n от приведенного давления пассивного потока \bar{p}_3 .

Л и т е р а т у р а

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. — М.: Машиностроение, 1969.
2. Епифанова В.И., Костин В.К., Усанов Б.В. Опытное и расчетное исследование вихревого эжектора. — Изв. вузов. Машиностроение, № II, 1975.
3. Епифанова В.И. Приближенная методика расчетного определения основных характеристик вихревого эжектора. — Изв. вузов. Машиностроение, № 10, 1975.