

заданного [I] режима работы ВТ на малых  $\mu$ , видно, что комбинированная ВТ дает больший температурный эффект охлаждения (почти на 20 %). Таким образом, когда заранее известно, что вихревая труба работает при  $\mu \leq 0,2$ , применение комбинированной вихревой трубы, методика расчета характеристик которой приведена выше, предпочтительнее.

#### Библиографический список

I. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. С.30-36.

УДК 621.694.2(088.2)

В.Е.Самойлов

#### МЕТОДИКА ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВИХРЕВОГО ЭЖЕКТОРА

В практике инженерных расчетов некоторых аппаратов широко применяются методы, опирающиеся в своей основе на экспериментальные данные. В этих методах значениями некоторых параметров приходится задаваться, а некоторые величины выбирать из данных опытов. Предлагаемый метод расчета противоточного вихревого эжектора (ПВЭ) базируется на указанных предпосылках. Поставленная задача может быть решена на основе анализа уравнения закона о количестве движения.

Рассмотрим уравнение количества движения применительно к двухкамерному противоточному вихревому эжектору (конструкция по а.с. № 916786). Примем следующую схему движения потоков газа. Через тангенциальное сопло внутрь эжектора втекает струя газа с секундной массой  $m_1$  и средней скоростью  $C_1$ . Поступая в периферийное кольцевое пространство первой камеры смешения газ, вращаясь, перемещается к ее противоположному торцу. Далее, попадая в периферийное кольцевое сечение второй камеры смешения, газовый поток, также совершая вращательное движение, перемещается к плоскости сопла пассивного газа. Одновременно через пассивное сопло в эжектор втекает пассивный

поток с секундной массой  $m_n$  и средней скоростью  $C_n$ . Смесь газов удаляется через торцевое сечение первой камеры смешения, расположенное в зоне соплового ввода активного газа.

При вихревом движении газа в камерах смешения ПВД на характер его течения и параметры, его определяющие, должна влиять, как и при одномерном движении, форма (профиль) канала. Профилируя соответствующим образом проточную часть эжектора, можно обеспечить равенство реакций боковых и торцевых стенок камер смешения. При условии отсутствия сил трения и массовых сил, когда внешними силами являются только силы давления, уравнение количества движения, учитывающее форму камер смешения эжектора, может быть записано в форме Эйлера в следующем виде:

$$\int_{\bar{f}} \rho \vec{a} df = \int_{\bar{f}} \rho C_n \vec{a} df.$$

Разбив интегралы по всей контрольной поверхности  $\bar{f}$  на сумму интегралов, взятых по ее участкам, можно записать

$$\int_{\bar{f}_{CA}} \rho \vec{a} df + \int_{\bar{f}_{CP}} \rho \vec{a} df + \int_{\bar{f}_{CM}} \rho \vec{a} df + \int_{\bar{f}_T + \bar{f}_B} \rho \vec{a} df + \int_{\bar{f}_{CA} + \bar{f}_{CP} + \bar{f}_{CM}} \rho \vec{a} df =$$

$$= \int_{\bar{f}_{CA}} \rho C_n \vec{a} df + \int_{\bar{f}_{CP}} \rho C_n \vec{a} df + \int_{\bar{f}_{CM}} \rho C_n \vec{a} df + \int_{\bar{f}_T + \bar{f}_B} \rho C_n \vec{a} df + \int_{\bar{f}_{CA} + \bar{f}_{CP} + \bar{f}_{CM}} \rho C_n \vec{a} df; \quad (I)$$

где

- $\bar{f}_{CA}$  - поверхность сечения входа активного газа;
- $\bar{f}_{CP}$  - поверхность сечения входа пассивного газа;
- $\bar{f}_{CM}$  - поверхность выхода смеси газов из осевого диффузора (вход в целевой или лопаточный диффузор);
- $\bar{f}_T$  - суммарная площадь всех торцевых участков камер смешения и осевого диффузора смеси газов;
- $\bar{f}_B$  - суммарная боковая поверхность камер смешения и осевого диффузора смеси газов (в  $\bar{f}_B$  не входят  $\bar{f}_{CA}$ ,  $\bar{f}_{CP}$ ,  $\bar{f}_{CM}$ ).

Таким образом, в контрольную поверхность включается вся поверхность ПВД, которая обеспечивает его нормальный режим работы.

Рассмотрим каждый из интегралов, входящих в уравнение (I):

$\int_{\bar{f}_{CA} + \bar{f}_{CP} + \bar{f}_{CM}} \rho C_n \vec{a} df$  учитывает влияние стенок каналов улиток завихрителей активного и пассивного потоков и лопаточного или целевого диффузора смеси газов на потоки газов. Он равен нулю в силу того, что участки поверхностей, обращенные к  $\bar{f}_{CA}$ ,  $\bar{f}_{CP}$  и  $\bar{f}_{CM}$ , совпадают

с твердыми стенками и, следовательно, во всех точках этих поверхностей  $C_n = 0$ . По той же причине равен нулю и  $\int_{f_n} \rho C_n^2 df$ .

В диффузорных камерах смешения ТВЭ имеет место постоянство периферийного статического давления по длине образующей камеры смешения. Введем допущение, что и в осевом диффузоре статическое давление на стенке диффузора по его длине также не изменяется. Тогда  $\int_{f+fs} P df$  равен нулю, так как силы, действующие на потоки газов, направлены по нормали к поверхности стенок и, следовательно, их поперечные составляющие, перпендикулярные продольной оси эжектора, взаимно уравновешиваются, а продольные составляющие уравновешиваются реакциями торцевых стенок.

Учитывая численные значения интегралов и принимая во внимание уравнение расходов ( $\rho c f = m$ ) и правило знаков, перепишем уравнение (I) в проекциях только на одну ось координат, перпендикулярную продольной оси эжектора, приняв во внимание, что сопло пассивного газа имеет улитку-завихритель, обеспечивающую ввод потока пассивного газа перпендикулярно оси камеры смешения

$$P_A f_{CA} + P_n f_{CN} - P_{CM} f_{CM} + \int_{f_{CM} - f_{CN} - f_{CA}} P df = m_1 C_1 - m_n C_n + m_{CM} C_{CM}$$

Интеграл статического давления  $\int_{f_{CM} - f_{CN} - f_{CA}} P df$  представляет собой реакции действия криволинейных стенок каналов входа активного и пассивного потоков и выхода смеси газов на потоки газов в ТВЭ. На основании закона механики о равенстве действия и противодействия эти силы равны по величине силам газодинамических давлений ( $P f$ ) и взаимно уравновешиваются. Таким образом, уравнение окончательно переписется в виде

$$m_1 C_1 + m_n C_n = m_{CM} C_{CM} \quad \text{или} \quad C_1 + n C_n = (1+n) C_{CM} \quad (2)$$

Определив скорости из уравнения расходов

$$m = K \frac{P^* \int q(\omega)}{\sqrt{\Gamma}}; \quad \rho c f = m,$$

подставим их в уравнение (2) и, проведя преобразования с учетом  $\pi_{CS} = P_{CM}^* / P_n^*$ ,  $\pi_1 = P_1^* / P_n^*$  и  $T_{CM} = (T_1 + n T_n) / (1+n)$  (из уравнения энергии), а также введя обозначения  $Q = T_n^* / T_1^*$ ,  $\alpha = f_n / f_{CM}$ ,  $\beta = f_n / f_1$ , получим

$$\bar{\pi}_{кс} = \frac{\varepsilon(\lambda_n)}{n^2 \theta} \left[ \frac{(1+n)(1+n\theta)}{\varepsilon(\lambda_{см})} \alpha - \frac{P_{см}^*}{P_1^* \varepsilon(\lambda_1)} \beta \right]. \quad (3)$$

Для учета потерь, имеющих место при движении потоков в элементах эжектора, в уравнение (3) введем коэффициент сопротивления, рассчитываемый по уравнению  $\xi = \frac{2\Delta P}{\rho V^2}$ , где  $\Delta P = P_1 - P_{атм}$ ,  $V$  - объем эжектора.

Окончательно получим уравнение для  $\bar{\pi}_{кс}$ :

$$\bar{\pi} = \frac{\varepsilon(\lambda_n)}{n^2 \theta} \left[ \frac{(1+n)(1+n\theta)}{\xi \varepsilon(\lambda_{см})} \alpha - \frac{P_{см}^*}{P_1^* \varepsilon(\lambda_1)} \beta \right].$$

### Библиографический список

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.:Наука, 1976.
2. А.С. 916786 (СССР). Вихревой эжектор /В.И.Метенин, И.Н.Денисов, В.Б.Черепанов, В.Е.Самойлов.-Опубл. 30.03.82 в Б.И. № 12.
3. Деич М.Е., Зарянкин А.Е. Гидрогазодинамика. М.:Энергоатомиздат, 1984.

УДК 621.565

В.И.Метенин, А.Е.Князев

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЖЕКТОРА ХОЛОДНОГО ПОТОКА ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

Принятые обозначения:

$P_{см}$  - полное давление смешанного потока эжектора;  $P_n$  - полное давление пассивного потока эжектора;  $F_{кс}$  - площадь сечения цилиндрической камеры смешения;  $F_{ас}$  - площадь сечения активного сопла.

Вихревой эффект с каждым годом все шире проникает в разные отрасли науки и техники. Однако наряду с такими достоинствами как простота, надежность, мобильность работы, вихревые трубы (ВТ) имеют большой недостаток - низкий КПД. Утилизация энергии выходящих из вихревой трубы потоков - один из путей увеличения эффективности ее работы, а также устройств, работающих на ее базе.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию рабочих характеристик эжектора, входящего в состав комбинированной