

диальной скорости для данного сечения является неизменной, то и величина перепада термодинамической температуры по радиусу вихря должна остаться постоянной, что в итоге приведет к повышению температуры на периферии вихря. Следовательно, при противоточном движении потоков в вихревой трубе происходит транспорт энергии от приосевых слоев газа к периферийным. При этом температура периферийных слоев газа растет, а приосевых - снижается и в пределе может достигнуть температуры в сопловом сечении. Такое распределение температуры для противоточной вихревой трубы подтверждается экспериментальными данными [1,4].

Перепад термодинамической температуры, подсчитанный по формуле (14) для тангенциальной скорости, равной скорости звука, составляет 41°C . Экспериментальный результат [4] 35°C .

Библиографический список

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 182 с.
2. Вулис Л.А. Об эффекте Ранка // Изв. АН СССР. Сер. ОТН. 1957. № 10. - С. 105-107.
3. Дубинский М.Г. О вращающихся потоках газа // Изв. АН СССР. Сер. ОТН. 1954. № 8. - С. 75-79.
4. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? - М.: Энергия, 1976. - 152 с.

УДК 532.527

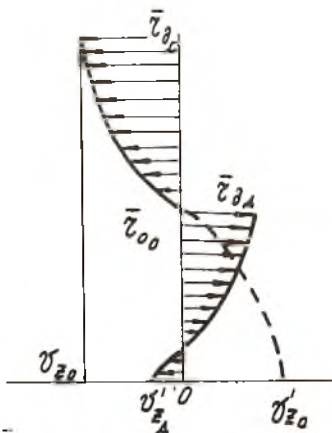
А.П. Толстоногов, А.Ю. Цыбров, С.П. Чернышев

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КОМБИНИРОВАННОЙ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

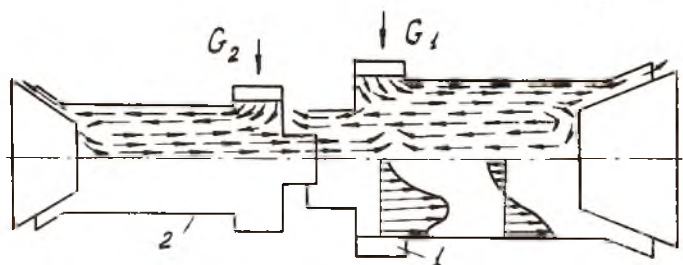
На некоторых режимах работы вихревой трубы (ВТ), особенно при малых относительных долях холодного потока ($\mu = 0,05 \dots 0,25$), статическое давление в сопловом аппарате на малых радиусах вихря может оказаться ниже давления окружающей среды. В этом случае неизбежен подсос газа из окружающей среды [1] (рис. 1), вследствие чего в диафрагме по оси ВТ возникают два противоположно направленных

закрученных потока. А так как вытекающий из диафрагмы холодный поток вызывает закрутку подсосываемого газа и обменивается с ним теплом, как и в основной зоне, возникает вторичный вихревой эффект. В результате холодный поток подогревается, что приводит к уменьшению температурного эффекта охлаждения газа в ВТ, особенно заметному при малых μ . Следует также отметить, что при этом относительный радиус разделения этих потоков $\sqrt{2}$ в зоне вторичного вихревого эффекта, очевидно, равен относительному радиусу нулевой осевой скорости в отверстии диафрагмы \bar{r}_a , определяемому [1] как радиус равенства давления в вихре и давления окружающей среды.

Для того чтобы избежать нежелательного подогрева холодного потока, была разработана схема из комбинации двух ВТ (рис.2). При работе по такой схеме холодный поток из дополнительной ВТ с относительным радиусом диафрагмы $\bar{r}_{дд} = \bar{r}_a$ подается



Р и с. 1. Распределение осевых скоростей потока по радиусу сечения диафрагмы: - - - эпара осевой скорости, противоточной ВТ



Р и с. 2. Схема комбинированной ВТ: 1 - основная, 2 - вихревая

по оси в камеру энергоразделения навстречу холодному потоку основной трубы. При этом закрутка дополнительного потока противоположна закрутке основного потока. Кроме того, подмешивание в камеру энергоразделения дополнительного количества газа с энтальпией меньшей, чем энтальпия газа на входе в основную ВТ, позволяет понизить энтальпию потока во всех сечениях трубы в целом.

Исходя из предпосылки о равенстве относительных радиусов диафрагмы, зная термодинамические параметры одной из входящих в комбинацию труб, можно определить основные характеристики второй трубы и характеристики рассматриваемой схемы.

Последовательность расчета следующая. Пусть параметры основной ВТ известны. Определим характеристики дополнительной ВТ и комбинации этих труб. Из работы [1] известно, что осевая скорость в отверстии диафрагмы на произвольном радиусе

$$v_z = \sqrt{\frac{2K}{K-1} RT_1 (a + b\bar{r}^2 - c)}, \quad (1)$$

здесь a, b, c определяются согласно работе [1]. На радиусе $\bar{r} = \bar{r}_a$ $v_z = 0$ (см. рис. 1). Тогда из формулы (1) находим радиус нулевой осевой скорости в отверстии диафрагмы:

$$\bar{r}_a = \left(\frac{c-a}{b} \right)^{0.5}, \quad (2)$$

т.е. $\bar{r}_a = f(\lambda, M_1)$ при давлении окружающей среды $p_x = const$.

Приняв значения p_{0c}, p_x, T_1, p_2 и M_1 основной и дополнительной ВТ равными, можно рассчитать для дополнительной ВТ (индекс "д") значения $\bar{r}_{2d}, a_d, b_d, c_d$ и определить, согласно формуле (2), радиус

$$\bar{r}_{ad} = \left(\frac{c_d - a_d}{b_d} \right)^{0.5}$$

Вследствие равенства $\bar{r}_a = \bar{r}_{ad}$ можно определить характеристики

$v_x = f(a, b, c, M_1, \bar{r}_d / \bar{r}_a, \bar{r}_2)$ и $M = f(a, b, c, M_1, \bar{r}_d / \bar{r}_a, \bar{r}_2)$, а затем

$G_x = f(\lambda_d, \bar{r}_{ad}, M_{1d}, T_{0cd}, T_{1d})$, потом $G_d = \frac{G_{xd}}{M_d}$, а также площадь сопла $F_{cd} = G_d / p_d v_{1d}$.

Далее, определив $T_{1d} = f(M_d, T_d, \bar{r}_{ad}, T_{0cd}, T_{1d})$ и $\eta = \frac{T_{1d}^* - T_{1d}}{T_{1d}^* [1 - (\frac{1}{K})^{K-1}]}$,

произведем рекомендуемый [1] проверочный расчет: $\bar{r}_{ad} = 0,35 + 0,313 \eta_d$.

Условие оптимального режима работы дополнительной ВТ может вызвать необходимость изменить значение \bar{r}_{ad} , которое, в свою очередь, потребует подбора независимых параметров p_{1d} и F_{cd} , что, однако, несложно при расчетах характеристик на ЭВМ.

Получив технические характеристики дополнительной ВТ, опреде-

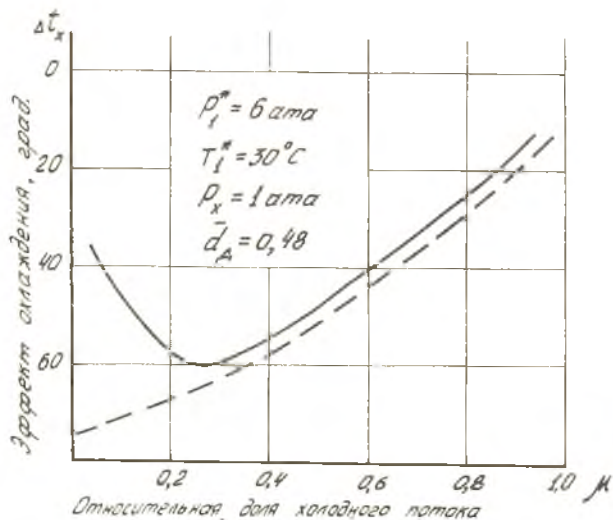
ляем характеристики комбинированной ВТ из условия, что сохраняется энергетический баланс:

$$i_i^* + i_{iA}^* + i_{iA}^* = \mu_K i_{iK}^* + (1 - \mu_K) i_i^* + (1 - \mu_A) i_{iA}^* \quad (3)$$

Из выражения (3) следует

$$i_{iK}^* = \frac{i_i^* + i_{iA}^* + (1 - \mu_K) i_i^* + (1 - \mu_A) i_{iA}^*}{\mu_K}$$

где $\mu_K = \frac{G_K}{G_i + G_{iA}}$. Считая $G_K = G_{iK} = const$ для критического режима истечения диафрагмы основной ВТ, можно, приняв $c_p = const$, определить среднемассовую полную температуру холодного потока, равную $T_{iK}^* = i_{iK}^* / c_p$ и эффект охлаждения $\Delta t_{iK}^* = T_i^* - T_{iK}^*$. Определив величину эффекта охлаждения Δt_{iK}^* при различных значениях μ_K , можно построить график зависимости $\Delta t_{iK}^* = f(\mu_K)$. На рис.3 эта зависимость сопоставлена с идентичным графиком, приведенным в работе [1]. Из сравнения графиков на рис.3, построенных для



Р и с . 3. Характеристики противоточной и комбинированной ВТ: — противоточная ВТ [1], - - - комбинированная ВТ

заданного [I] режима работы ВТ на малых μ , 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