

В. А. Высочин

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА  
И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ВИХРЕВЫХ ТРУБ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И ДОВОДКИ  
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ УЗЛОВ

Практика показывает, что при увеличении геометрических размеров ВТ до диаметров  $D = 100$  мм и выше в сопловом сечении и диапазоне степеней расширения до  $\pi_x = 8-22$ , применение прямого геометрического моделирования обуславливает расхождение получаемых опытных результатов с предсказываемыми известными [1, 2] методиками как по температурной эффективности, так и по холодопроизводительности. Это вызвало необходимость проведения дополнительных исследований на 100-миллиметровой адиабатной ВТ с цилиндрическим и диффузорным горячими участками. На основании обобщения полученного фактического материала с учетом опытных данных других авторов результаты исследования могут быть представлены в виде следующей методики расчета:

1. С целью обеспечения максимального уровня термодинамической эффективности величина приведенной средней скорости истечения холодного потока из отверстия диафрагмы не должна превышать  $\tilde{\lambda}_x = 0,5$ .

2. Площадь отверстия диафрагмы находится из уравнения

$$f_d = G_x \sqrt{T_x^*} [m_{кр} \psi(\tilde{\lambda}_x) P_x]^{-1}$$

3. Вычисляется геометрический диаметр отверстия диафрагмы  $d_T$  (принимая  $\mu_d = 1,0$ ).

4. Исходя из конкретных условий (необходимы ли максимальные температурная эффективность или холодопроизводительность) задается величина расчетного приведенного диаметра отверстия диафрагмы  $\tilde{d}_T$ .

5. Исходя из возможностей производства, принимается тип соплового аппарата.

6. Рассчитывается средний радиус ввода потока в вихревую камеру и геометрический приведенный диаметр отверстия диафрагмы. При применении сопловых аппаратов с тангенциальными вводами последний вычисляется из уравнения

$$\bar{d}_r = \bar{d}_T (1 - 0,2\sqrt{1/n})^{-1}.$$

При использовании сопловых аппаратов, выполненных по спирали Архимеда, вне зависимости от числа рабочих каналов  $n$  расчетный (теоретический) и геометрический приведенный диаметры совпадают:

$$\bar{d}_r = \bar{d}_T.$$

7. Определяется диаметр горячего участка в сопловом сечении:

$$\mathcal{D} = d_r / \bar{d}_r.$$

8. Температурный к.п.д. процесса расширения рассчитывается, исходя из значения максимально достигнутого к.п.д. лучших ВТ и уточняется соответствующими коэффициентами (при  $\bar{d}_T = 0,5$ ;  $\mu = 0,3$ ):

$$\eta_x = 0,62 \bar{\eta}_c \bar{\eta}_\varepsilon \bar{\eta}_T \bar{\eta}_\mu \bar{\eta}_d,$$

где  $\bar{\eta}_c$  - коэффициент, учитывающий потери в сопловом аппарате и снижение температурного к.п.д. за счет перетекания пограничного слоя вдоль диафрагмы; зависит от абсолютных размеров ВТ и может быть вычислен по формуле

$$\bar{\eta}_c = (0,2 \lg \mathcal{D} + 0,22) 0,62^{-1};$$

$\bar{\eta}_\varepsilon$  - коэффициент, учитывающий потери от парциальности подвода газа. Для сопловых аппаратов, выполненных по спирали Архимеда, в зависимости от числа рабочих каналов

$$\bar{\eta}_\varepsilon = 0,88 + 0,2 \lg n,$$

для остальных типов сопловых аппаратов

$$\bar{\eta}_\varepsilon = 0,12 (1 - \varepsilon) \varepsilon^{-1};$$

$\bar{\eta}_T$  - коэффициент, учитывающий тип ВТ. Для диффузорных ВТ  $\bar{\eta}_T = 1,0$ . Для ВТ с цилиндрическим горячим участком  $\bar{\eta}_T = 0,91$ ;

$\bar{\eta}_\mu$  - коэффициент, учитывающий режим работы ВТ; вычисляется по формуле

$$\bar{\eta}_\mu = (1 + 0,5\mu - \mu^2 - 0,5\mu^3) 1,033^{-1};$$

$\bar{\eta}_d$  - коэффициент, учитывающий величину расчетного приведенного диаметра отверстия диафрагмы  $\bar{d}_T$ ; вычисляется по формуле

$$\bar{\eta}_d = 2,3 (1 - \bar{d}_T^2) (2 - \bar{d}_T^2)^{-1}.$$

9. Необходимая степень расширения вычисляется из уравнения

$$1/\pi_x = (1 - \Delta T_x^*/T_0^* \eta_x)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

10. Вычисляется полное давление на входе в сопловой аппарат:

$$P_0^* = P_x \pi_x .$$

11. По располагаемой степени расширения с помощью таблиц газодинамических функций находится приведенная изэнтропическая скорость истечения  $\lambda_s$ .

12. Вычисляется степень реактивности ВТ из уравнения

$$\rho = (1,5 - 2\bar{d}_T^2)(2 - \bar{d}_T^2)^{-1} .$$

13. Вычисляется величина приведенной скорости истечения из соплового аппарата:

$$\lambda_c = \lambda_s \sqrt{1 - \rho} .$$

14. По таблицам газодинамических функций находится функция

$$q(\lambda_c) .$$

15. Массовый расход сжатого воздуха, проходящего через сопловой аппарат, вычисляется из уравнения

$$G_0 = G_x / \mu .$$

16. Площадь соплового аппарата находится из уравнения расхода

$$f_c = G_0 \sqrt{T_0^*} [m_{кр} P_0^* q(\lambda_c) \mu_c]^{-1} ,$$

где  $\mu_c$  - коэффициент расхода сопел; определяется из уравнения

$$\mu_c = \left[ \frac{1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \lambda_{cs}^2}{1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \lambda_{cs}^2 \varphi} \right] \varphi .$$

17. Рассчитывается приведенная площадь соплового аппарата. Вычисляются геометрические размеры и количество каналов сопла. При необходимости выполняется расчет второго и третьего приближений.

Настоящая методика расчета была апробирована при проектировании ВТ с диаметром в сопловом сечении от 55 до 186 мм и степенью расширения  $\pi_x = 22$ .

## Л и т е р а т у р а

1. М е р к у л о в А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969, 184 с.
2. М а р т ы н о в А.В., Б р о д я н с к и й В.М. Что такое вихревая труба? - М.: Энергия, 1976, 152 с.

УДК 621.565.94

Р.Х. Мухутдинов

### СОЗДАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ МНОГОТРУБНЫХ ВИХРЕВЫХ АППАРАТОВ

Для интенсификации процессов охлаждения газов, конденсации паров из парогазовых смесей и сепарации жидкой дисперсной фазы нами с привлечением конструкторских организаций Минхиммаша применительно к различным технологическим условиям разработан ряд кожухотрубчатых вихревых конденсационно-сепарирующих теплообменников (ТВКС), в которых обеспечены условия для осуществления эффекта Ранка-Хилша.

На рис. 1 представлены схемы конструкций ТВКСН и винтовых закручивающих устройств (ВЗУ) недиафрагмированных (а) и с диафрагмовым отверстием (б). ТВКСН является по форме обычным кожухотрубчатым теплообменником, отличающимся от последнего наличием недиафрагмированных ВЗУ на входных и каплеотбойников на выходных концах труб. В отличие от первого исполнения ТВКСН снабжены диафрагмированными ВТ, "холодные" концы которых размещены в промежуточном кожухе и закреплены в дополнительной трубной решетке с установленными над ними каплеотбойниками. ТВКСН, кроме того, имеет трубы обратного хода газа с целью его дополнительного охлаждения. В отдельных вариантах аппаратов трубная зона выполнена секционированной, позволяющей отключать треть вихревых труб при уменьшении расхода газа через аппарат. Отметим характерные особенности ТВКС: