

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЕВОГО ПОТОКА ВЕЩЕСТВА
В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

В работе [1] для аналитического выражения тангенциальных скоростей в вихревой трубе (ВТ) был применен метод эквивалентной задачи теории теплопроводности (ЭЗТ). Условиями применимости метода является развитый турбулентный обмен и сохранение интегральной величины переносимой субстанции. Применим метод ЭЗТ к величине удельного осевого расхода $m(r, z) = v_z(r, z) \cdot \rho(r, z)$. Для каждого сечения камеры энергетического разделения ВТ справедливо выражение

$$2\pi \int_0^{r_2} m(r, z) r dr = G_r = \text{const.} \quad (1)$$

Запишем уравнение типа теплопроводности для $m(r, z)$ в плоскости эффективных переменных ψ, ξ

$$\frac{\partial m}{\partial \psi} = \frac{\partial^2 m}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\psi} \frac{\partial m}{\partial \xi}. \quad (2)$$

Прямой подстановкой можно убедиться, что частным решением уравнения (2) является функция вида

$$m(\psi, \xi) = \frac{A}{2\xi} \exp\left(-\frac{\psi^2}{4\xi}\right). \quad (3)$$

Зависимость между эффективными и физическими переменными задается на основе анализа экспериментальных данных

$$\psi = r; \quad \xi = r_1^2 - r_2^2 + \mathcal{L}(z), \quad (4)$$

где r_2 — поверхность осевой нулевой скорости.

Для соплового сечения справедливы следующие интегральные условия:

$$\int_{r_2}^{r_1} \left(\frac{A}{2(r_1^2 - r_2^2)} \left(\exp\left(-\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) - \exp\left(-\frac{r^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) \right) \right) r dr = \frac{G_r}{2\pi}, \quad (5)$$

$$\int_0^{r_2} \left(\frac{r^2}{2(r_1^2 - r_2^2)} \left(\exp\left(-\frac{r^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) - \exp\left(-\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) \right) \right) r dr = \frac{G_1}{2\pi} \quad (6)$$

Интегрируя выражения (5) и (6), получаем

$$\exp\left(-\frac{r_1^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) - \frac{3}{4} \exp\left(-\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) = \frac{G_1}{2\pi A} \quad (7)$$

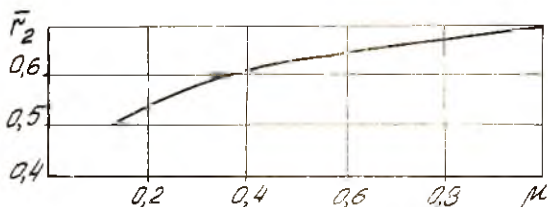
$$1 - \exp\left(-\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) \left(1 + \frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2)}\right) = \frac{G_2}{2\pi A} \quad (8)$$

Из формул (7) и (8) определяется зависимость

$$\mu = \frac{1 - \exp\left(-\frac{\bar{r}_2^2}{4(1 - \bar{r}_2^2)}\right) \left(1 + \frac{\bar{r}_2^2}{4(1 - \bar{r}_2^2)}\right)}{\exp\left(-\frac{1}{4(1 - \bar{r}_2^2)}\right) - \frac{3}{4} \exp\left(-\frac{\bar{r}_2^2}{4(1 - \bar{r}_2^2)}\right)} \quad (9)$$

Из графика на рис. I видно, что изменению μ от 0,1 до 1 соответствует изменение \bar{r}_2 (0) от 0,5 до 0,7.

Для исследования течения в камере энергетического разделения преобразуем выражение (1):



Р и с. I. Влияние μ на величину \bar{r}_2 в сопловом сечении

$$\int_{r_2}^{r_1} \frac{\pi A}{(r_1^2 - r_2^2 + \chi(z))} \left(\exp\left(-\frac{r^2}{4(r_1^2 - r_2^2 + \chi(z))}\right) - \exp\left(-\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2 + \chi(z))}\right) \right) r dr - \int_0^{r_2} \frac{\pi A}{(r_1^2 - r_2^2 + \chi(z))} \left(\exp\left(-\frac{r^2}{4(r_1^2 - r_2^2 + \chi(z))}\right) - \exp\left(-\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2 + \chi(z))}\right) \right) r dr = G_1 \quad (10)$$

Интегрируя выражение (10), получим

$$\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2 + \chi(Z))} \exp\left(-\frac{r_2^2}{4(r_1^2 - r_2^2 + \chi(Z))}\right) + \exp\left(-\frac{r_1^2}{4(r_1^2 - r_2^2 + \chi(Z))}\right) = 1 + \frac{G_r}{2\pi A} \quad (II)$$

В работе [2] проведены замеры величины r_2 при различных значениях χZ и μ . Используя формулу (II), определим интенсивность обмена теплом и массой через поверхность r_2 . На рис. 2 показано влияние величин \bar{Z} и μ на $\chi(Z)$. Так как по данным работы [2] при $\bar{Z} > 7$ обмена теплом не происходит, в этой зоне интенсивность массообмена увеличивается при удалении от соплового сечения и увеличении μ .

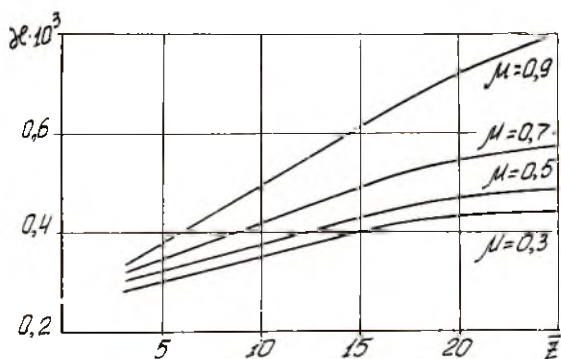


Рис. 2. Влияние μ и \bar{Z} на интенсивность обмена теплом и массой через поверхность r_2

Библиографический список

1. Токарев Г.П. Затухание тангенциальной скорости в вихревой трубе // Газодинамика двигателей летательных аппаратов. Казань, 1982. С. 13-16.
2. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Исследование параметров вихревого потока внутри трубы Ранка-Хильта // ИФЖ. 1967. Т. XII. № 5. С. 639-644.