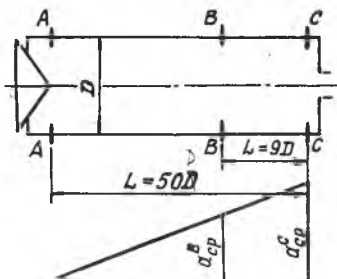


Н.Т.Крамаренко

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ КАМЕРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВЫХ ТРУБ

Процесс распределения температур по радиусу вихря является не мгновенным, а колебательным, затухающим во времени. Максимальное снижение температуры газа на оси ВТ происходит после первого цикла процесса, начинающегося при постоянной по радиусу полной температуре. Второй цикл вызывает повышение температуры на оси ВТ по сравнению с первым циклом. После второго цикла устанавливается окончательное радиальное распределение температуры, зависящее от времени взаимодействия периферийного и осевого потоков газа.

Максимальное охлаждение присевых слоев газа происходит при равенстве времени взаимодействия периферийного и осевого потоков газа и времени совершения первого цикла колебательного процесса. Качественную оценку величины времени совершения первого цикла можно сделать, исходя из следующих предпосылок.



Р и с. 1. Схема распределения средних центробежных ускорений по длине ВТ: А-А - сечение выхода нагретого потока для трубы длиной $50 \ell_t$ калибров; В-В - сечение выхода нагретого потока для трубы длиной $9 \ell_t$; С-С - сечение соплового ввода

Молекулы газа присевого потока под действием центробежного ускорения преодолевают путь, равный радиусу r_0 ВТ. Цикл энергетического разделения заканчивается, когда молекулы, имеющие минимальную начальную скорость (в частности, равную нулю), двигаясь от оси вихря, достигают его периферии.

Упрощая схему процесса, принимаем, что центробежное ускорение изменяется вдоль ВТ по линейной зависимости (рис. 1), что допустимо для качественной оценки процесса.

Уравнение длины пути, который проходит молекула, имеющая начальную скорость $U = 0$, под действием

центробежного ускорения имеет вид

$$S = r_0 = \frac{a_{cp} t^2}{2\gamma}, \quad (1)$$

откуда время, необходимое для преодоления этого пути,

$$t = \sqrt{\frac{2r_0}{a_{cp}} \gamma}. \quad (2)$$

Здесь a_{cp} - среднее по радиусу и длине трубы центробежное ускорение; γ - коэффициент, учитывающий частоту столкновения молекул.

Среднее центробежное ускорение для ВТ длиной $50 \bar{\ell}_T$

$$a_{cp} = \frac{a_{cp}^A + a_{cp}^C}{2} = \frac{a_{cp}^C}{2}, \quad (3)$$

так как в сечении А-А вихрь отсутствует и $a_{cp}^A = 0$ (рис. 1).

Для ВТ длиной 9 калибров с крестовиной среднее ускорение

$$a_{cp} = \frac{a_{cp}^B + a_{cp}^C}{2} = \frac{a_{cp}^C \cdot 410 + a_{cp}^C}{2} = 0,9 a_{cp}^C. \quad (4)$$

Ускорение a_{cp}^C определяется по уравнению

$$a_{cp}^C = \frac{a_i^C + a_o^C}{2}. \quad (5)$$

Ускорение a_o^C на оси вихря равно нулю, поэтому

$$a_{cp}^C = \frac{a_i^C}{2} = \frac{U_{T(1)}^2}{2r_0}, \quad (6)$$

где $U_{T(1)}$ - тангенциальная скорость на периферии вихря в сечении соплового ввода.

Отрезок времени, необходимый для совершения первого цикла процесса энергетического разделения в ВТ длиной $50 \bar{\ell}_T$

$$t = \frac{r_0}{U_{T(1)}} \sqrt{8\gamma}, \quad (7)$$

а для ВТ длиной $9 \bar{\ell}_T$

$$t = \frac{r_0}{U_{T(1)}} \sqrt{4,44\gamma}. \quad (8)$$

Тогда скорость присевого потока газа относительно периферийного для трубы длиной $50 \bar{\ell}_T$

$$U = \frac{L}{t} = \frac{500 U_{T(1)}}{r_0 \sqrt{8\gamma}} = 35,3 \frac{U_{T(1)}}{\sqrt{\gamma}}, \quad (9)$$

а для короткой трубы

$$\eta = \frac{L}{t} = \frac{90 U_{\tau(1)}}{r_0 \sqrt{4,44\gamma}} = 8,6 \frac{U_{\tau(1)}}{\sqrt{\gamma}}. \quad (10)$$

Как следует из уравнений (9) и (10), оптимальная скорость присосевых потоков газа для коротких ВТ значительно ниже, чем для длинных труб.

Охлажденный газ, вытекающий из ВТ, имеет наиболее низкую температуру в том случае, если осевая скорость присосевого потока соответствует полученным выше значениям. Понижение этой скорости вызывает продолжение колебательного процесса, а повышение - не позволяет закончить первый цикл процесса. В обоих случаях температура торможения охлажденного потока окажется выше минимально возможной.

От величины осевой скорости присосевого потока газа зависит относительный расход μ охлажденного потока. Поэтому в коротких ВТ максимальное охлаждение должно достигаться при меньших значениях μ , а в длинных трубах - при больших значениях этой величины.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают полученные выводы. Так, в работе [1] установлено, что ВТ длиной $9 \ell_T$ более эффективны в диапазоне $\mu = 0,2-0,5$, а при $\mu = 0,6-0,8$ эффективнее становятся трубы длиной $50 \ell_T$.

Л и т е р а т у р а

1. Дыскин Л.М., Крамаренко П.Т. О зависимости температурной характеристики от длины вихревой трубы. - В сб.: Вихревой эффект и его применение в технике. - Куйбышев: КуАИ, 1976, с. 41-44.