Библиографический список

1. Балалаев А.Н., Князев А.Е. Моделирование вихревого эффекта с помощью идеальных элементов /Самар. политехн. ин-т. Самара, 1989. Деп. в ВИНИТИ 22.12.89, № 7593-В89.

2. Пиралишвили Ш.А., Михайлов В.Г. Экспериментальное исследование вихревой трубы с дополнительным потоком /Тр. КуАИ. 1973. Вып. 56. С. 64-74.

УДК 533.601.16

В.И.Кузнецов

КРИТЕРИАЛЬНАЯ БАЗА ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА РАНКА

(Омский политехнический институт)

На основе математической модели, описывающей процесс энергетического разделения в вихревой трубе (ВТ) по теории моделирования, составлена критериальная база вихревого эффекта Ранка. Найдено, что вихревой эффект имеет шесть определяющих безразмерных комплексов.

Условные обозначения:

ВТ - вихревая труба; p - давление; T - температура; V_τ, V_z, V_r - тангенциальная, осевая, радиальная составляющие скорости в ВТ; μ - массовая доля холодного потока; ρ - плотность; ν - кинематическая вязкость; ℓ - длина; F - площадь; ω - угловая скорость; α - коэффициент теплоотдачи; $\bar{\lambda}$ - коэффициент теплопроводности; μ_i - динамическая вязкость; k - показатель адиабаты; ξ - коэффициент сопротивления трения; g - ускорение земного тяготения; λ - коэффициент скорости; ε - поправочный коэффициент, учитывающий вращательное движение газа; Re, Pr, Nu, Gr, Ro, Fr - критерии Рейнольдса, Прандтля, Нуссельта, Грасгофа, Россби, Фруда.

ISBN 5-230-16926-5

Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992

Попытки создания критериальной базы проводились неоднократно [I-3], однако до сих пор эта задача не решена окончательно. В настоящей работе сделана попытка создания по возможности более полной критериальной базы вихревого эффекта Ранка. На основе математической модели, изложенной в работе [4], можно записать все основные параметры, влияющие на температурную эффективность вихревой трубы, т.е. температурная эффективность является функцией следующих параметров:

$$\eta=f(\rho, T, V, \ell, F, p, \omega, \alpha, \bar{\lambda}, \vartheta, \mu_i, g, k, \zeta, \mu, P_r, Re, Nu, Gr, \varepsilon, \lambda). \quad (I)$$

Из двадцати одного параметра, определяющих η, четыре имеют независимую размерность (ρ, T, V, ℓ) восемь – зависимую размерность $(F, p, \omega, \alpha, \bar{\lambda}, \vartheta, \mu_i, g)$ и девять – безразмерные величины $(k, \zeta, \mu, P_r, Re, Nu, Gr, \varepsilon, \lambda)$. Следовательно, необходимо найти Π_{n-k} безразмерных комплексов [5] для составления критериальной базы:

$$\Pi_{n-k} = n - k + 1 = 12 - 4 + 1 = 9,$$

где Π_{n-k} – число безразмерных комплексов, n – общее количество размерных величин, имеющих независимую размерность.

Безразмерные комплексы находятся с помощью π – теоремы Бэкингема:

$$\Pi = \frac{[\eta]}{[\rho]^{a_1}[T]^{a_2}[V]^{a_3}[\ell]^{a_4}} = \frac{L^{3a_1}\,T^{a_3}}{M^{a_1}\theta^{a_2}L^{a_3}L^{a_4}} =$$

$$= L^{3a_1-a_3-a_4}\,T^{a_3}M^{a_1}\theta^{a_2}.$$

Так как комплекс есть безразмерная величина, следовательно, степени размерных величин должны быть равны нулю:

$$a_1=0;\ a_2=0;\ a_3=0;\ 3a_1-a_3-a_4=0,$$

откуда

$$a_1=0;\ a_2=0;\ a_3=0;\ a_4=0$$

и

$$\Pi = \frac{\eta}{\rho^0 T^0 V^0 \ell^0} = \eta.$$

Расчет по π – теореме Бэкингема дал следующие значения безразмерных комплексов:

$$\Pi_1 = 1;\ \Pi_2 = 1;\ \Pi_3 = 1;\ \Pi_4 = 1;\ \Pi_5 = F/\ell^2;\ \Pi_6 = Eu;$$
$$\Pi_7 = \omega\ell/V\ (\Pi_7' = \omega\ell/V_z = Ro^{-1};\ \Pi_7'' = \omega\ell/V_r;\ \Pi_7''' = \omega\ell/V_\varphi);$$
$$\Pi_8 = Nu^{-1};\ \Pi_9 = Nu^{-1};\ \Pi_{10} = Re^{-1};\ \Pi_{11} = Re^{-1};\ \Pi_{12} = Fr^{-2}.$$

В результате размерная функциональная зависимость (I) принимает вид безразмерных комплексов:

$$\Pi = f(1;\ 1;\ 1;\ 1;\ F/\ell^2, Eu, Ro^{-1}, Nu^{-1}, Nu^{-1}, Re^{-1}, Re^{-1}, Fr^{-2}, k, \zeta, \mu, Pr, Re, Nu, Gr, \varepsilon, \lambda) \qquad (2)$$

или

$$\eta = (F/\ell^2, Eu, Ro, \omega\ell/V_z, \omega\ell/V_r, Fr, k, \zeta, \mu, Pr, Re, Nu, Gr, \varepsilon, \lambda). \qquad (3)$$

Из выражения (3) видно, что температурная эффективность вихревой трубы является функцией пятнадцати переменных, которые образуют критериальную базу эффекта Ранка. Если геометрические размеры модели и натуры совпадают $(F = \ell_2)$, то η будет функцией четырнадцати безразмерных комплексов:

$$\eta = f(Eu, Ro, Fr, k, \zeta, \mu, Pr, Re, Nu, Gr, \varepsilon, \lambda, \omega\ell/V_z\ \ \omega\ell/V_r). \qquad (4)$$

Критерий Фруда Fr является функцией массовых сил, которыми в газовой динамике пренебрегают ввиду их малости по сравнению с поверхностными. Поэтому критерий Фруда можно не относить к определяющим.

Критерий Прандтля Pr является функцией показателя адиабаты k, и так как в числе критериев, определяющих температурную эффективность η, есть k, Pr можно не включать в уравнение (4).

Коэффициент сопротивления ζ есть функция числа Рейнольдса Re. Поскольку Re имеется в функциональной зависимости (4), то ζ можно оттуда вывести.

Критерий Нуссельта является функцией чисел Re и Грасгофа Gr, и поэтому его, т.е. Nu, можно исключить из числа определяющих в уравнении (4).

Коэффициент ε, учитывающий закрутку потока, зависит от линейных размеров вихревой трубы. Линейные размеры имеют независимую размерность и определяют величину константы, поэтому ε можно исключить из уравнения (4).

Радиальная скорость газа V_r в ВТ имеет величину на 2–3 порядка ниже окружной, поэтому комплекс $\Pi_7'' = \frac{\omega \ell}{V_r}$ можно исключить из определяющих.

Критерий Эйлера $Eu = f(Re, P_r, G_r)$, и поэтому его можно исключить из определяющих в уравнении (4).

Критерий Грасгофа G_r учитывают при свободном течении, а так как в вихревой трубе течение всегда вынужденное, его можно опустить.

С учетом изложенного, температурную эффективность вихревой трубы определяют следующие безразмерные комплексы:

$$\eta = f(Ro, Re, k, \mu, \lambda, \omega\ell/V_r), \qquad (5)$$

из которых Ro и Re является числами подобия.

Наличие такого большого количества чисел подобия и безразмерных комплексов объясняет неудачу многих попыток объяснить эффекта Ранка влиянием какого-то одного критерия [I–5].

Библиографический список

I. Г у л я е в А.И. Исследование вихревого эффекта //ЖТФ. I965. Т. 35. № I0. С. I869–I88I.

2. М е р к у л о в А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М. Машиностроение, I969. I84 с.

3. Ш т ы м А.Н. Аэродинамика циклонно-вихревых камер. Владивосток:Изд-во Дальневост.ун-та, I985. 200 с.

4. К у з н е ц о в В.И., Б а р с у к о в С.И. Вихревой эффект Ранка /Иркутск: Изд-во Иркут.ун-та, I983. I2I с.

5. Н а щ о к и н В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М., Высш.шк., I975. 496 с.