

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО АППАРАТА

Асп. Шорец А.В., доц. Ольшанский В.И., доц. Ольшанский А.И.

(Витебский государственный технологический университет)

В 1931 г. Жозефом Ранком был открыт вихревой эффект энергетического разделения газов, называемый часто эффектом Ранка. Однако только с 1946 г. вихревой эффект стал объектом серьезных научных исследований.

Вихревой эффект проявляется в том, что в закрученном потоке газа наблюдается его энергетическое разделение. Наиболее полно этот эффект проявляется в так называемой вихревой трубе (рис. 1).

Вихревая труба представляет собой гладкую цилиндрическую трубу 1, снабженную тангенциальным соплом 2, улиткой 3, диафрагмой 4 с осевым отверстием и дросселем 5.

При втекании в вихревую трубу сжатого газа, через тангенциально расположенное сопло, в трубе образуется интенсивный закрученный поток газа.

В области от оси до определённого радиуса поток вращается с практически постоянной угловой скоростью $\omega = \text{const}$, т.е. по закону вращения твёрдого тела. В теории вихревого эффекта эту зону, вращающуюся с $\omega = \text{const}$, называют *вынужденным вихрем*.

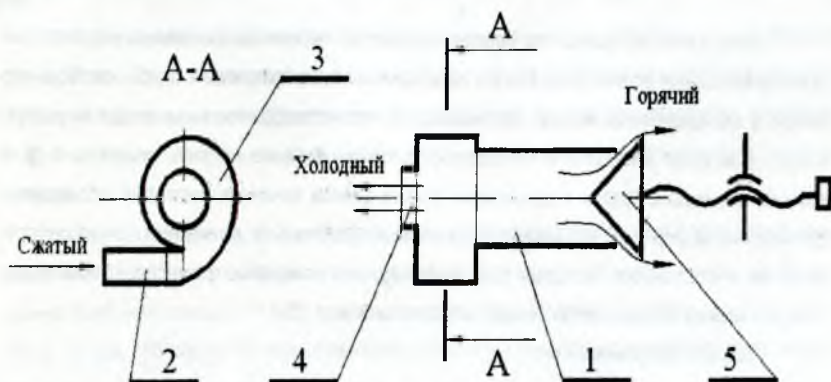


Рис.1. Схема вихревой трубы

В периферийной области угловая скорость резко снижается с возрастанием радиуса. Закон изменения скорости в этой области, особенно в сечениях,

близких к сопловому, приближаются к закону потенциального течения жидкости: $V_{\tau}r = \text{const}$. В теории вихревого это течение принято называть *свободным вихрем*.

Понятие о вихревом движении связано с представлением о вращении ограниченной массы жидкости относительно некоторой оси, именуемой вихревой линией. В связи с этим вихревое движение определяется двумя параметрами – осью и угловой скоростью вращения.

Вектор ω угловой скорости вращения частицы жидкости называется вихрем. Величина и направление этого вектора определяются его проекциями на оси координат [1]:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial z} \right);$$

$$\eta = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial x} \right);$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} \right).$$

Вихревая линия (ось вращения) представляет собой линию, касательную к направлению векторов угловой скорости ω , и определяется уравнением:

$$\frac{dx}{\varepsilon} = \frac{dy}{\eta} = \frac{dz}{\zeta}.$$

Большинство работ по теории вихревого эффекта основано на гипотезе преобразования возникающего во входном сечении вихревой трубы свободного вихря в вынужденный вихрь. Принимается, что преобразование вихря осуществляется за счет вязкости и теплопроводности газового потока, спирально движущегося вдоль трубы к дросселю. Такая схема течения наглядно объяснима физически и строго описывается системой уравнений движения, сплошности, энергии и состояния, которая для ламинарного осесимметричного потока в цилиндрических координатах имеет следующий вид [2].

Уравнения движения:

$$V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} \right);$$

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} + V_r \frac{V_r}{r} = \nu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} \right);$$

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{V_r^2}{r} = -\frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} \right);$$

Уравнение сплошности:

$$\frac{\partial(q \cdot r \cdot V_r)}{\partial r} + \frac{\partial(q \cdot r \cdot V_z)}{\partial z} = 0$$

Уравнение состояния:

$$p = g \cdot q \cdot R \cdot T$$

Уравнение энергии:

$$q \cdot C_p \left(V_r \frac{\partial T}{\partial r} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = V_r \frac{\partial p}{\partial r} + V_z \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \mu' \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial V_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{V_r}{r} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r} \right)^2 \right\} - \frac{2\mu'}{3} \left(\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} - \frac{\partial V_z}{\partial z} \right)^2.$$

Используя условия адиабатности стенок, прилипания газа к ним и делая ряд других упрощающих предположений, удаётся найти решение, показывающее на возникновение энергетического разделения при преобразовании потока.

Однако, как показывают эксперименты, выводы, сделанные на основе данной гипотезы и описывающих ее уравнений, не подтверждаются на практике. Из этого следует необходимость дальнейших экспериментальных исследований вихревого эффекта для возможного корректирования теоретических выкладок.

Целью проделанной работы было параметрическое исследование вихревого аппарата со следующими характеристиками: диаметр трубы D 30 мм; длина рабочей зоны $L = 9D$; использовались диафрагмы с диаметрами отверстия 15 мм, 18 мм и 20 мм; давление сжатого газа 4 атм.; температура подаваемого сжатого газа 18°C.

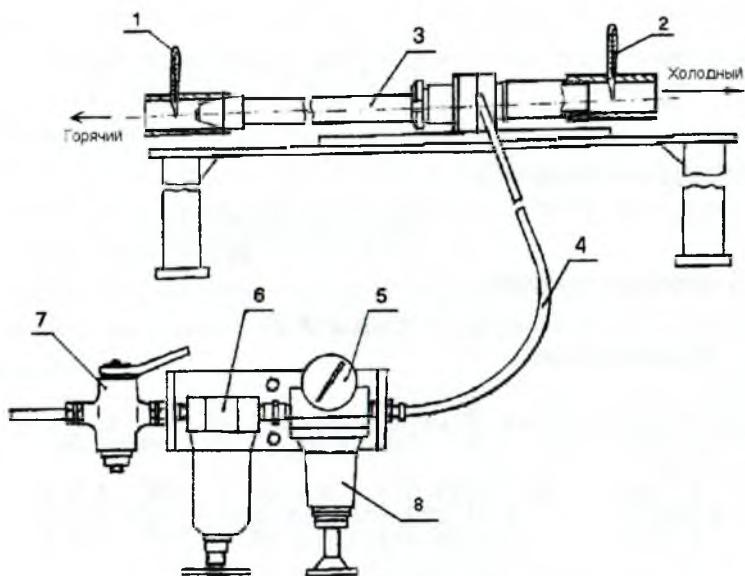


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

На рис. 2 представлена схема экспериментальной установки, где 1, 2 – термометры для измерения температуры горячего и холодного потоков соответственно; 3 – вихревая труба; 4 – рукав; 5 – манометр; 6 – фильтр- влагоотделитель; 7 – кран муфтовый; 8 – клапан редукционный.

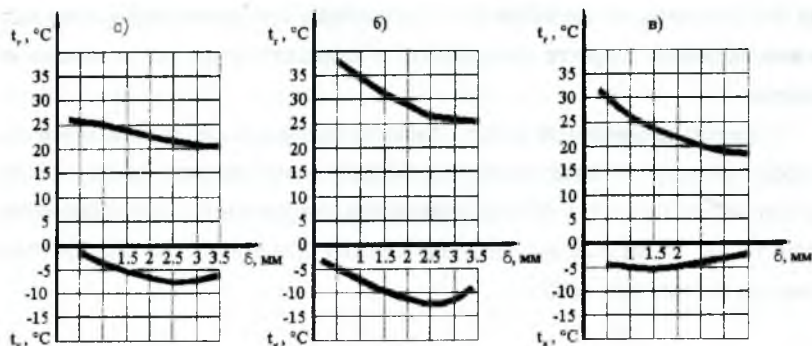


Рис.3. Диаграммы экспериментального исследования

Целью работы являлось исследование зависимости температуры получаемых холодного и горячего потоков от параметров вихревой трубы. В ходе экспериментов изменялся зазор δ в дросселе и диаметры отверстия диафрагмы. На рис. 3, а представлены результаты эксперимента при использовании диафрагмы диаметром 15 мм; на рис. 3, б – диафрагмы диаметром 18 мм; на рис. 3, в – диафрагмы диаметром 20 мм.

Как видно из графиков, наилучших результатов удалось достичь при отверстии диафрагмы 18 мм. При этом наивысшая температура горячего потока $t_g = 40$ °С имела место при зазоре дросселя $\delta = 0,5$ мм. Наивысший эффект охлаждения возникал при зазоре дросселя $\delta = 2,5$ мм. При этом удалось достичь температуры $t_x = -12$ °С.

Такие температуры представляют интерес уже не только с точки зрения исследования вихревого эффекта, но могут использоваться в различных сферах производства.

Литература

Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969.

Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика. - М.: Стройиздат, 1975.

УДК 625.7.07:613.11

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ТЭЦ, ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Асп. Кондратенкова В.А., доц. Платонов А.П., проф. Ковчур С.Г.

(Витебский государственный технологический университет)

Цель работы заключается в подборе оптимального состава органоминеральных смесей холодной укладки для устройства и ремонта покрытий автомобильных дорог. Стоимость дорожного покрытия достигает 70 % и более от общих затрат на сооружение дороги. Поэтому устройство дорожных одежд из ме-