

2. Райский Ю.Д. Исследование работы вихревой трубы на газо-жидкостных смесях. "Газовая промышленность", 1967, № 6.
3. Лейтес И.Л., Семенов В.П., Половинкин В.А., Жидков Н.А., Гагинцев Б.Г., Атаманова В.В. Очистки природного газа с помощью вихревого эффекта. - В сб.: Некоторые вопросы исследования вихревого эффекта и его промышленного применения. Куйбышев, 1974 (Труды первой научно-технической конференции).
4. Lindestrzem - Lang C.U. Gas Separation in the Ranque - Hilsch Vortex Tube. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 7, 1964.
5. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М., "Машиностроение", 1969.
6. Lau J.E. An Experimental and Analytical Study of Vortex-Flow Temperature Separation by Superposition of Spiral and Axial Flows. *Journal of Heat Transfer Trans of the ASME, Series C*, 1959, №3.
7. Райский Ю.Д., Тинкель Л.Е. Разделение парогазовых смесей в вихревой трубе. "Химическая промышленность", 1973, № 10.

А.В. Мурашкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА,
РАБОТАЮЩЕГО В РЕЖИМЕ РЕВЕРСА

П р и н я т н ы е о б о з н а ч е н и я

D - диаметр вихревой трубы	$T_{вх}$ - температура воздуха на входе в вихревой холодильник
L - длина вихревой трубы	T_x - температура холодного воздуха
F_c - площадь проходного сечения сопла	μ - массовая доля холодного потока
η_t - температурная эффективность	G_x - расход холодного воздуха
ΔT - приращение температуры	$G_{вх}$ - расход входного воздуха
κ - показатель изоэнтропы	\bar{d} - относительный диаметр диафрагмы
ε - степень расширения	d - диаметр диафрагмы
$P_{вх}$ - давление воздуха на входе в вихревой холодильник	

Вихревая труба обладает рядом преимуществ: простотой конструкции, большим ресурсом работы и т.д., но наряду с этим более широкое применение ее на практике сдерживается из-за малой термодинамической эффективности. Существует много направлений в исследованиях по повышению термодинамической эффективности вихревой трубы.

Среди многообразия направлений можно выделить еще одно полезное использование энергии горячего потока.

В МВТУ им. Н.Э. Баумана был предложен вихревой холодильник состоящий из двух вихревых труб, соединенных на общей диффузоре.

Для испытания вихревого холодильника был создан экспериментальный стенд (рис.1). Сжатый воздух от пневмосети через редуктор (3) по трубопроводу проходит через водяную ванну теплообменника 2, где подогревается до температуры окружающей среды и идет на вход в первую вихревую трубу. Холодный поток отводится через диафрагму в ресивер и через ротаметр выбрасывается в атмосферу. Горячий поток газа через теплообменник 2 идет на вход во вторую вихревую трубу, откуда подогретый воздух отводится через диафрагму в ресивер и через ротаметр выбрасывается в атмосферу. Точки замера температуры и давления показаны на схеме стенда. Для измерения температуры использовались термомпары (T на рис.1) (медьконстантан, диаметром проволоки $0,2 \cdot 10^{-3}$ м) и потенциометр ПИ-63 кл.0,05, замер давления производился образцовыми манометрами кл.0,4, расход воздуха определялся с помощью ротаметров РС-7 и РС-5 погрешностью 2,5%, а также мерной диафрагмой диаметром $1 \cdot 10^{-2}$ м погрешностью 2,5%.

Испытания проводились на вихревом холодильнике, который имел следующие геометрические параметры:

$D_1 = 8,6 \cdot 10^{-3}$ м — диаметр первой вихревой трубы;

$D_2 = 8,6 \cdot 10^{-3}$ м — диаметр второй вихревой трубы;

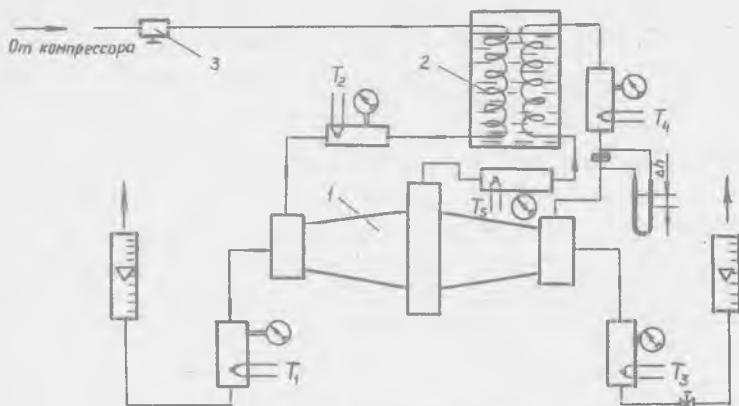
$L_1 = 7 D_1$ — длина первой вихревой трубы;

$L_2 = 6 D_2$ — длина второй вихревой трубы;

$f_{c1} = 6 \cdot 10^{-6}$ м² — площадь проходного сечения сопла первой вихревой трубы;

$f_{c2} = 24 \cdot 10^{-6}$ м² — площадь проходного сечения сопла второй вихревой трубы;

$d_f = 5,6 \cdot 10^{-5}$ м — диаметр диафрагмы первой вихревой трубы.



Р и с. 1. Схема экспериментального стенда

По результатам экспериментов выбраны следующие критерии:

$$\eta_t = \frac{\Delta t_x}{\Delta t_s} \quad \text{— температурная эффективность;}$$

где

$$\Delta t_x = T_{\delta x} - T_x \quad \text{— разница температур на холодном конце;}$$

$$\Delta t_s = T_{\delta x} \left[1 - \left(\frac{p_x}{p_s} \right)^{\frac{1}{\mu}} \right] \quad \text{— перепад температуры при изоэнтروпийном расширении;}$$

$$\mu \eta_t \quad \text{— термодинамическая эффективность,}$$

где

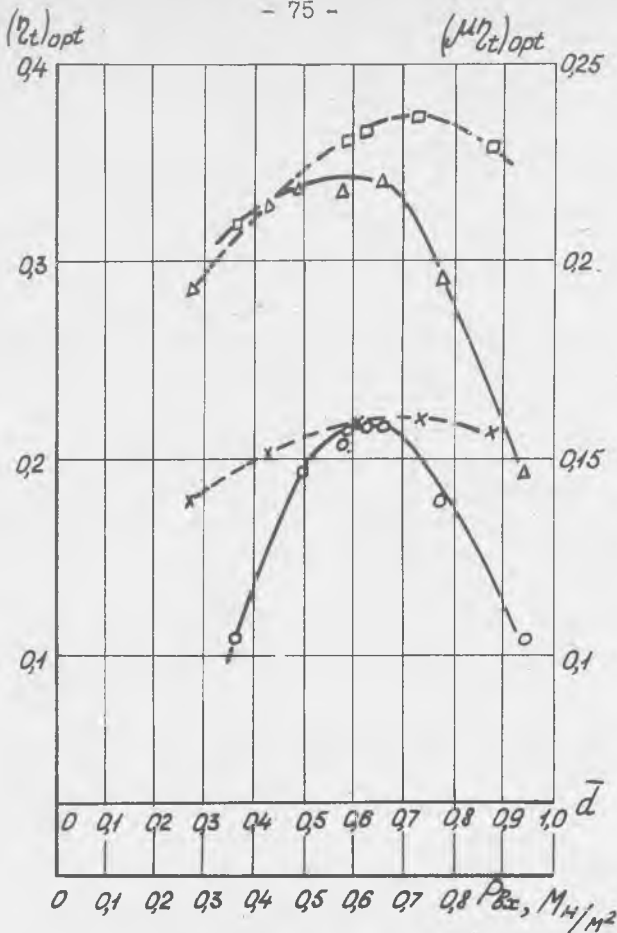
$$\mu = \frac{\rho_x}{\rho_{\delta x}}$$

Испытания проводились в два этапа:

в первом исследовалось влияние давления при входе на характеристики вихревого холодильника;

во втором — влияние диаметра диафрагмы первой вихревой трубы.

1. Результаты экспериментов представлены на рис.2 в виде зависимостей $\eta_{t \text{ opt}} = f(p_{\delta x})$ и $(\mu \eta_t)_{\text{opt}} = f(p_{\delta x})$. Анализ экспериментальных данных показал, что при увеличении давления входа от 0,3 до 0,56 Мн/м² заметно растет эффективность вихревого холодильника. Дальнейшее увеличение давления от 0,56 Мн/м² и выше показало, что интенсивность термодинамической эффективности уменьшается, так как



Р и с. 2. Зависимости $(p_t)_{opt}$ и $(\mu_t)_{opt}$ от P_{kx} и \bar{d} :

- $(\mu_t)_{opt} = f_4(\bar{d})$;
- △— $(p_t)_{opt} = f_2(\bar{d})$;
- x— $(\mu_t)_{opt} = f_3(P_{kx})$;
- $(p_t)_{opt} = f_1(P_{kx})$

при высоких давлениях первая вихревая труба начинает работать в перегруженном режиме [I] и истечение воздуха на диафрагме первой трубы становится критическим. Таким образом, оптимальное давление составило $0,56 \text{ Mn/M}^2$, т.е. давление в промышленной пневмосети.

Экспериментальные данные позволили получить эмпирическую за-

зависимость $\mu = f(\varepsilon)$. Для максимальной термодинамической эффективности $\mu = 0,43 - 0,02 \varepsilon$.

П. Геометрические параметры вихревого холодильника во второй серии экспериментов оставались прежние, но относительный диаметр диафрагмы $\bar{d}_1 = \frac{D_1}{d_1}$ (первой вихревой трубы) менялся в диапазоне от 0,35 до 0,93. На рис.2 представлены зависимости $\eta_{\text{opt}} = f(\bar{d}_1)$ и $(\mu \eta_{\text{opt}})_{\text{opt}} = f(\bar{d}_1)$ при различных значениях относительного диаметра диафрагмы.

В результате экспериментального исследования была получена зависимость относительно диаметра диафрагмы \bar{d}_1 от μ

$$\bar{d}_1 = 3,33 \mu - 0,833 .$$

Эта серия экспериментов показала, что изменение относительного диаметра диафрагмы не дало значительного повышения эффективности вихревого холодильника, и что самый верный путь ее увеличения - это нахождение оптимальной площади сопел.

В ы в о д ы

1. В результате исследования были получены эмпирические зависимости $\mu = f(\varepsilon)$ и $\bar{d}_1 = f(\mu)$ для расчета вихревого холодильника подобных размеров.
2. Значительного повышения термодинамической эффективности вихревого холодильника достигнуто не было, так как многие геометрические параметры были не оптимальными.

Л и т е р а т у р а

1. Ч и ж и к о в Ю.В. Определение диаметра вихревой трубы в зависимости от степени расширения. Известия вузов. М., "Машиностроение", 1972, № 7.

А.И. Борисенко, В.А. Сафонов, В.Н. Клычков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ С КОЛЬЦЕВЫМ ЗАБОРОМ

Известные в настоящее время вихревые трубы, как следует из проведенных исследований, не дают видимого эффекта при работе на влажном водяном паре.