

Л.М.Мошкарнев, С.И.Кузьмин, Л.С.Дмитриева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА  
НА ТРУБАХ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Из работ, посвященных исследованию ВТ большого диаметра, следует отметить [1, 2], в которых приводятся, в основном, парные зависимости параметров, формирующих эффект температурного разделения воздуха, а также оптимальные соотношения между некоторыми физическими величинами и геометрическими параметрами труб диаметром от 0,09 до 0,2 м.

Целью настоящей работы является оптимизация режима действия адиабатных вихревых труб диаметром 0,15-0,3 м и определение перспективности использования их в вентиляционной технике.

За параметр оптимизации, характеризующий эффект температурного разделения, принят перепад между температурами воздуха, поступающего в вихревую трубу и выходящего из диафрагмы  $\Delta t_x$ , который следует максимизировать. За входные факторы исследуемого процесса приняты: диаметр вихревой трубы  $D$ , длина горячего конца  $l$ , диаметр диафрагмы  $d$ , относительный массовый расход воздуха через диафрагму  $\mu$ , равный отношению весовых количеств воздуха, выходящего из диафрагмы  $G_x$  и на входе в трубу  $G_c$ .

При экспериментальных исследованиях подача воздуха в вихревые трубы осуществлялась двумя последовательно соединенными вентиляторами ВВД № 9. Поток воздуха закручивался по спирали Архимеда в улитках, изготовленных из жести с сопловым вводом в форме прямоугольника с соотношением сторон 2:1 ( $h$ ) и площадью 0,0112 м<sup>2</sup>.

Во время опытов поддерживались постоянными избыточное давление воздуха на входе в сопло на уровне  $P_c = 0,0084$  МПа ( $\pm 1\%$ ) и температура. Области определения и уровни факторов представлены в таблице.

Математическую модель процесса предполагалось искать в виде полинома

$$y = \sum_{i=0}^4 \theta_i x_i + \sum_{i < j} \theta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k} \theta_{ijk} x_i x_j x_k. \quad (1)$$

### Кодирование входных факторов

Наименование фактора	Кодовое обозначение фактора	Управление факторов			Интервал варьирования
		-I	0	+I	
Диаметр вихревой трубы $\varnothing$ , м.	$x_1$	0,15	0,225	0,3	0,075
Длина горячего конца $l$ , м	$x_2$	2,6	3,4	4,2	0,8
Диаметр диафрагмы $d$ , м	$x_3$	0,04	0,07	0,1	0,03
Относительный массовый расход воздуха $\mu$	$x_4$	0,13	0,31	0,49	0,18

Для определения коэффициентов полинома был дважды реализован план полного факторного эксперимента типа  $2^4$ . Дисперсия ошибки опыта  $S_y^2$  оказалась равной 0,04.

После расчета коэффициентов и проверки их значимости, выполненной с помощью  $t$  - критерия Стьюдента, уравнение (1) принимает вид

$$y = 2,87 + 0,63x_1 - 0,78x_3 - 0,75x_4 + 0,46x_1x_3 - 0,19x_1x_4 + 0,27x_2x_3 + 0,49x_3x_4 + 0,16x_1x_2x_3 - 0,26x_2x_3x_4 - 0,63x_1x_3x_4. \quad (2)$$

Доверительный интервал коэффициентов регрессии при этом составил  $\Delta\theta_i = 0,11$ .

Проверка уравнения (2) по  $F$  - критерию Фишера показала адекватность его экспериментальным данным при уровне значимости 0,05.

Поиск оптимальных параметров ВТ осуществлялся по уравнению (2) методом перебора на ЭВМ Минск-22. Максимальное значение  $\Delta t_x = 5,8^\circ\text{C}$  получено при следующих значениях независимых переменных:  $\varnothing = 0,15$  м;  $d = 0,04$  м;  $l = 2,6$  м и  $\mu = 0,1$

При этом соотношения между основными параметрами составили:  $l/D = 18$ ;  $D/d = 4$ ;  $D/d_c^* = 1,5$ , что удовлетворительно согласуется с данными работы [1], в которой исследования проводились при давлении воздуха перед соплом 0,013 МПа.

Из результатов исследований и анализа уравнения (2) следует:

1. Увеличение диаметра трубы при постоянстве  $l$ ,  $d$  и  $\mu$  ведет к увеличению эффекта температурного разделения воздуха, что не противоречит выводам работы [1]. В то же время наибольшее значение  $\Delta t_x$  в области проводимых исследований получено в трубе меньшего диаметра - 0,15 м, что может быть объяснено следующим:

оптимальным соотношением всех геометрических параметров трубы диаметром 0,15 м;

недостаточным давлением воздуха на входе в ВГ диаметром 0,3 м.

2. Для труб диаметром 0,15 м дальнейший поиск оптимальных условий связан с уменьшением диаметра диафрагмы  $d$  и относительного массового расхода воздуха  $\mu$  и поэтому не представляет практического интереса. То же можно сказать и о трубах диаметром 0,3 м и длиной 2,6 м.

3. Для труб диаметром 0,3 м и длиной горячего конца 4,2 м оптимальные условия их работы находятся за пределами области исследования. Повышенные значения  $\Delta t_x$  (эквивалентный диаметр сопла) следует искать в направлении увеличения диаметра диафрагмы. При этом оптимальное значение относительного диаметра диафрагмы  $\bar{d}$ , равное отношению  $D/d$ , зависит от длины трубы и не совпадает с оптимальным значением  $\bar{d}$  для труб диаметром 0,15 м.

В заключение необходимо отметить, что использование адиабатных вихревых труб совместно с вентилятором высокого давления для получения охлажденного воздуха затруднено из-за влияния эффекта аэродинамического подогрева в вентиляторе и малого значения  $\mu$ . Поэтому для получения охлажденного воздуха для целей вентиляции наиболее перспективно использование охлаждаемых вихревых труб, работа которых возможна при значениях  $\mu$ , близких к единице.

#### Л и т е р а т у р а

1. Мартыновский В.С., Бойтко А.М. Эффект Ранка при низких давлениях. - Теплоэнергетика, Энергия, 1961, № 2, с. 80-85.

2. Кокорин О.Я., Дыскин Л.М., Агафонов Б.А. Результаты исследования вихревой трубы низкого давления. - Водоснабжение и санитарная техника. 1977, № 2, с. 18-20.

УДК 532.527.004.14:534.422(088.8)

С.В.Лукачев, С.Г.Матвеев

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ  
РЕГУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ,  
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РАБОТЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ РАНКА

Многие исследователи вихревого эффекта в своих работах отмечали, что на некоторых режимах работы ВТ в области дросселя возникает резкий свист дискретного тона. Однако целенаправленного изучения неустойчивости течения, порождающего этот звук, до сих пор проведено не было. Между тем присутствие в потоке газа регулярных пульсаций давления не может не оказывать влияния на турбулентный энергообмен между вихрями.

Цель данной работы - исследовать условия возникновения неустойчивых режимов течения и выявить их природу.

Исследование проводилось на адиабатической ВТ ( $d = 32$  мм,  $\bar{F}_c = 0,1$ ;  $\bar{d}_g = 0,45$ ;  $L = 4-40$ ). Рассматривались как гладкие трубы, так и трубы со спрямляющей крестовиной. Пульсации давления в потоке исследовались с помощью пьезоэлектрического датчика, чувствительный элемент которого (пластинка из цирконата свинца  $d = 10$  мм и  $b = 1$  мм) заподлицо крепился в мерном участке трубы. Комплект вторичной аппаратуры позволял анализировать сигнал в звуковом диапазоне частот (20-20000 Гц).

Эксперимент показал, что в трубе со спрямляющей крестовиной неустойчивый режим течения, характеризуемый наличием регулярных пульсаций давления низкой частоты ( $f_{нч} = 1500-2000$  Гц), имеет место практически во всем диапазоне режимов работы трубы по  $\mu$  (рис. 1). Амплитуда сигнала монотонно увеличивается с ростом  $\mu$ , а вблизи  $\mu = 1$  происходит скачкообразное увеличение уровня пульсаций давления примерно на 2 порядка (рис. 2,а), которое со-