

ного 7 ата, короткая труба становится эффективнее длинной в области  $\mu < 0,75$ . При больших величинах  $\mu$  более эффективной остается длинная труба.

Следует отметить, что во всех случаях лучший температурный эффект получен для входного сопла с относительной площадью  $F_c = 0,109$ .

Результаты экспериментов показали, что соотношение эффективностей температурного разделения воздуха в коротких трубах со спрямляющей крестовиной и в длинных трубах без спрямляющей крестовины неоднозначно и зависит от величины давления сжатого воздуха на входе в трубу; величины относительной площади поперечного сечения входного сопла и величины относительного расхода холодного воздуха.

Таким образом, выбор оптимальной длины вихревой трубы определяется в каждом отдельном случае конкретными значениями перечисленных выше величин конструктивных и режимных параметров.

#### Л и т е р а т у р а

1. М е р к у л о в А.П. Исследование вихревого эффекта. ЖТФ, 1956, том26, вып.6.
2. Р а й с к и й Ю.Д., Т у н к е л ь Л.Е. О влиянии конфигурации и длины вихревой трубы на процессы энергетического разделения газа. ИФЖ, 1974, том27, №6.

А.А. Поляков

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВИХРЕВЫХ ТРУБ НА ВЛАЖНОМ ВОЗДУХЕ

Принятые обозначения

$T_0$  - температура торможения на входе в вихревую трубу, К  
 $P_0$  - полное давление на входе в вихревую трубу, бар  
 $\mu$  - весовая доля холодного потока  
 $\pi$  - степень расширения воздуха в вихревой трубе  
 $T_x$  - температура холодного потока, К

$\Delta t_x$  - эффект охлаждения, град  
 $d_x$  - влагосодержание холодного потока, г/кг  
 $T_{T, P x}$  - температура точки росы холодного потока, К  
 $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  - снижение температуры расширяющегося воздуха в сопловом вводе вихревой трубы на единице его длины; К/см

Использование вихревых труб для создания заданного температурного режима, обдува деталей и во многих других случаях неизбежно ставит вопрос о влагосодержании охлажденного потока воздуха, получаемого с помощью трубы. В исследованиях вихревого эффекта [1], [2] проведена оценка влияния влажности используемого в вихревых трубах воздуха на их температурную эффективность. В работе [2] приведены поправки на влажность, которыми можно пользоваться при расчетах. Однако вопрос распределения влаги, содержащейся в воздухе на входе в вихревую трубу, по потокам в этих работах не рассматривался.

Анализ исследований работы цилиндрических вихревых труб на влажном воздухе, проведенных В.С. Мартыновским и В.П. Алексеевым [1], а также результаты аналогичных исследований на конических вихревых трубах различной конструкции и при различных параметрах на входе, позволили сделать следующие выводы:

снижение эффекта охлаждения всегда имеет место в диапазоне исследованных температур и давлений на входе;

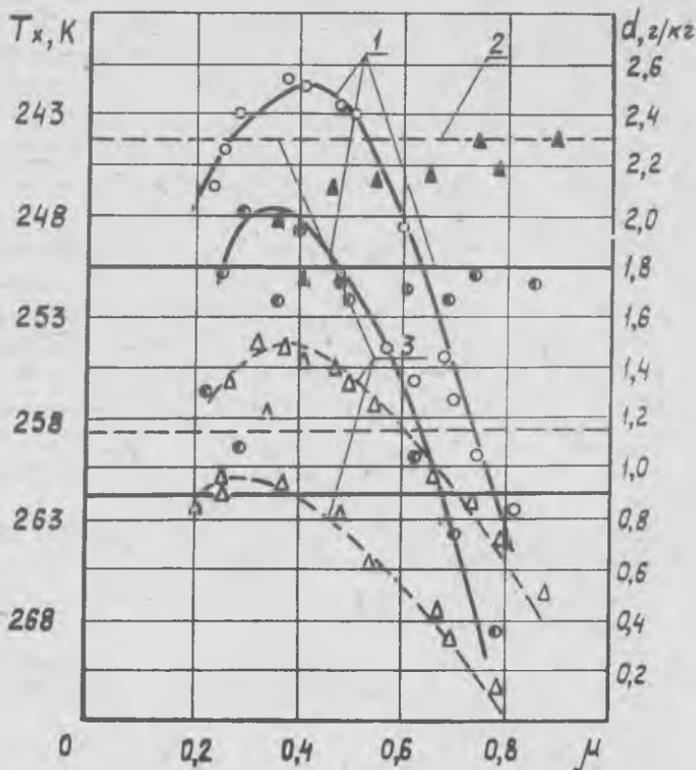
величина снижения эффекта охлаждения всегда равна или превышает теоретически возможное снижение за счет полного фазового перехода паров воды, т.е. определяется влагосодержанием на входе в вихревую трубу;

установка на горячем выходе вихревой трубы различных развихрителей потока приводит к увеличению снижения эффекта охлаждения в области малых значений  $\mu$  ;

увеличение длины вихревой зоны разделения от 10 до 30 калибров также приводит к увеличению снижения эффекта охлаждения, что может быть объяснено лишь многократным фазовым переходом паров воды в процессе их энергетического разделения;

оценить влагосодержание холодного и горячего потоков в процессе расчета холодильно-нагревательных установок на основе вихревых труб невозможно.

Исследования [2], [3], а также проведенные замеры статического давления по периметру соплового сечения вихревой трубы, позволяют утверждать, что в диапазоне исследованных давлений за срезом соплового ввода существует устойчивая сверхзвуковая зона течения. При таком характере течения двухфазного потока каким является влажный воздух, в сопловой зоне вихревой трубы не мо-



Р и с. 1. Влагосодержание холодного потока конической вихревой трубы:

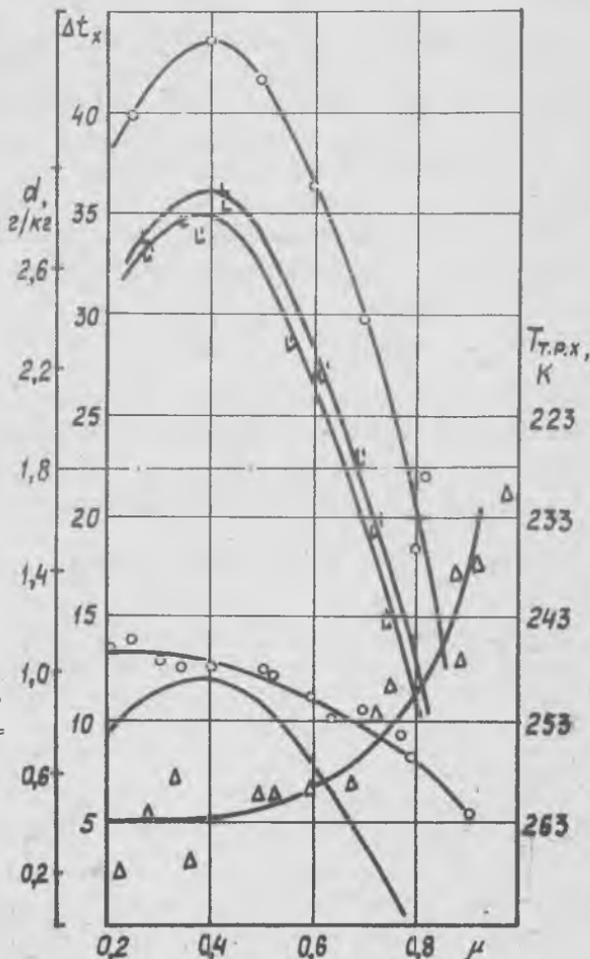
- 1 -  $P_0 = 5$  бар,  $T_0 = 285$  К;
- 2 - начальное влагосодержание;
- 3 -  $P_0 = 2,25$  бар,  $T_0 = 276$  К;

жет реализоваться равновесный процесс расширения паров воды, что приводит к их переохлаждению и сам процесс конденсации паров должен происходить скачкообразно. Момент начала конденсации (скачка конденсации) будет определяться величиной переохлаждения паров воды.

Основными факторами, влияющими на величину переохлаждения паров воды, а следовательно и на процесс конденсации, являются

Р и с.2. Влияние влажности на эффект охлаждения и на температуру точки росы холодного потока:

- о -  $\Delta t_x = f(\mu)$  - для сухого воздуха, град;
- $\Delta$  -  $\Delta t_x = f(\mu)$  - для влажного воздуха у вихревой трубы с обычным сопловым вводом, град;
- $\Delta'$  -  $\Delta t_x = f(\mu)$  - для влажного воздуха с профилированным сопловым вводом ( $\frac{\Delta T}{\Delta x} = 20 \text{ К/см}$ ), град;
- $\bullet$  -  $T_{р.х} = f(\mu), \text{ К}$ ;
- $\Delta$  -  $T_x = f(\mu)$  - для влажного воздуха К;
- $\Delta$  -  $d_x = f(\mu), \text{ г/м}$



высокая скорость охлаждения и преобладание радиальной составляющей скорости течения над другими составляющими в сопловом сечении. На влагосодержание холодного потока, кроме того, оказывает значительное влияние пограничный слой диафрагмы. Перечисленные особенности протекания процесса конденсации в сопловом сечении вихревой

трубы и определяют влагосодержание получаемых в ней потоков воздуха.

Для регулирования процесса конденсации паров воды в вихревой трубе и получения её улучшенных рабочих характеристик было применено профилирование соплового ввода и диафрагма с конической вставкой. Результаты продувок подобной вихревой трубы (рис.2) подтверждают правильность сделанных выше выводов, а также показывают возможность получения холодного потока в этих вихревых трубах с температурой точки росы не выше температуры самого потока, что открывает более широкие возможности для применения их в различных отраслях народного хозяйства.

### Л и т е р а т у р а

1. Мартыновский В.С., Алексеев В.П. Исследование эффекта вихревого температурного разделения газов и паров, ЖТФ, 1956, № 26, вып.10.
2. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М., "Машиностроение", 1969.
3. Гуляев А.И. Исследование вихревого эффекта. ЖТФ, 1965, № 35, вып.10.

А.П. Лепявко

### АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЭНЕРГООБМЕНА МЕЖДУ ПОТОКАМИ ГАЗА ВНУТРИ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

Принятые обозначения

$c_p$  - изобарная теплоёмкость

$\rho, \rho, T$  - осредненные плотность, давление и температура

$v_x, v_z, v_z'$  - компоненты вектора осредненной скорости

$v_z', v_z'$  - пульсационные составляющие скорости

$T'$  - пульсация температуры

$r$  - текущий радиус

$r_0$  - радиус разделения осевых потоков

$d_1$  - диаметр трубы в сопловом сечении

$\epsilon$  - кинематический коэффициент турбулентной вязкости

$\epsilon_q$  - коэффициент турбулентной теплопроводности

$q$  - тепловой поток

$c$  - коэффициент теплопередачи

$\mu'$  - динамический коэффициент молекулярной вязкости

$A, \beta$  - коэффициент пропорциональности,  $k$  - показатель адиабаты