

эффект и его промышленное применение. - Куйбышев: КуАИ, 1981, с. 136-139.

6. Воронин Г.И., Дубровский Е.В. Эффективные теплообменники. - М.: Машиностроение, 1973. - 95 с.

7. Воронин Г.И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах. - М.: Машиностроение, 1973. - 444 с.

8. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 318 с.

9. Шустров Ю.М., Булевский М.М. Авиационные системы кондиционирования воздуха. - М.: Машиностроение, 1978. - 160 с.

УДК 621.578

А.А.Кузьмин, С.О.Муратов, Ю.М.Симоненко

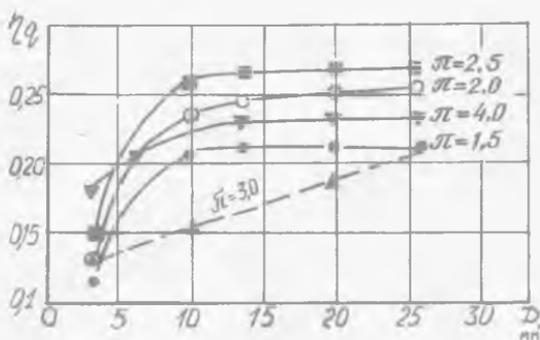
МАЛОМАСШТАБНЫЕ ВИХРЕВЫЕ ТРУБЫ

Преимущества ВТ наиболее полно проявляются в устройствах небольшой холодопроизводительности ($Q_0 \leq 100$ Вт), периодического действия. Это объясняется как сокращением "разрыва" в энергетической эффективности между традиционными высокоэкономичными источниками холода и вихревыми при понижении уровня потребной холодопроизводительности [3], так и значительными сложностями, возникающими при создании миниатюрного высокоэффективного источника холода.

Для оценки влияния масштабного фактора на работу охлаждаемых ВТ были исследованы геометрически подобные устройства диаметром от 1 до 27 мм. На рис. 1 представлены зависимости адиабатного к.п.д. охлаждаемых и неохлаждаемой вихревых труб от диаметра. Анализ экспериментальных данных показывает, что угол наклона графиков, описываемый соотношением

$$K = \frac{h_{a0} - h_a}{\mu(D_0 - D)}, \quad (1)$$

где h_{a0} и h_a - адиабатные к.п.д. эталонной и произвольной ВТ;



Р и с. 1. Зависимость эффективности вихревых труб от масштабного фактора: - - - неохлаждаемые ВТ; — — — воздухоохлаждаемые оребренные ВТ

D_0 и D — диаметры эталонной и произвольной ВТ (мм);

M — относительная доля холодного потока значительно меньше у охлаждаемых труб ($\kappa = 3 \cdot 10^{-4}$ мм⁻¹), чем у неохлаждаемых ($\kappa = 5 \cdot 10^{-8}$ мм⁻¹) в диапазоне диаметров 27–10 мм.

Слабое влияние масштаба на энергетические характеристики исследованных ВТ при $M = 1$ может быть объяснено совокупным воздействием двух факторов:

- переток пограничного слоя по плоскости диафрагмы, особенно снижающей эффективность при уменьшении диаметра ВТ;
- изменение условий теплоотдачи на наружной поверхности трубе — при изменении диаметра ВТ.

Геометрическое подобие испытанных ВТ, а также равенство расходов охлаждающего и питающего ВТ потоков обуславливают постоянство скорости охлаждающего воздуха в межреберных каналах и пропорциональность коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности отношению Nu/d_3 , где d_3 — эквивалентный диаметр. При течении воздуха в узких каналах

$$Nu = \kappa(Re)^m,$$

где $\kappa = 0,56-0,6$ для ламинарного и переходного режимов.

Тогда коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности к охлаждаемому воздуху [2]

$$\alpha = \frac{Nu \lambda}{d_3} = \frac{W^m d_3^m \lambda}{\nu^m d_3} = C/d_3^{1-m},$$

где $C = \frac{W^m \lambda}{\nu^m}$ — постоянная величина.

Учитывая пропорциональную зависимость d_3 от диаметра ВТ D , можно сделать вывод о том, что с уменьшением D значение коэффициента теплоотдачи α возрастает.

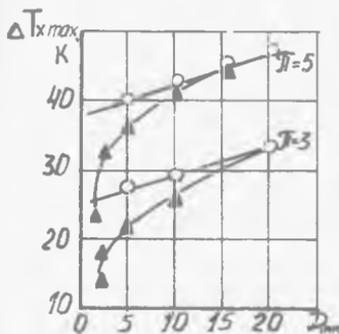
Из-за взаимно противоположного влияния факторов а) и б) уменьшение диаметра D до определенного момента ($D = 10$ мм) не приводит к существенному снижению эффективности. При дальнейшем уменьшении диаметра ВТ возрастает влияние фактора а) и эффективность заметно ухудшается.

Для уточнения влияния масштабного фактора на работу неохлаждаемых ВТ были проведены экспериментальные исследования конических микротруб диаметром 2,3 и 4 мм. На рис. 2 приведены зависимости, характеризующие влияние относительной доли холодного потока, угла конусности и длины камеры энергоразделения на эффект охлаждения. Как видно из графиков, четкой зависимости температурной эффективности от угла конусности камеры энергоразделения не наблюдается, что объясняется как относительно большой длиной камеры энергоразделения $L = 15D$, так и малым масштабом ($D = 2$ мм). Уменьшение длины вихревой камеры от 15 калибров до 5

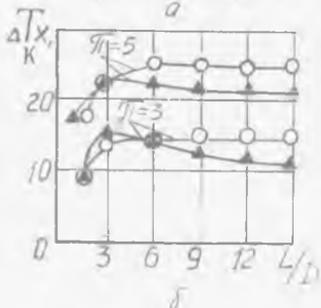
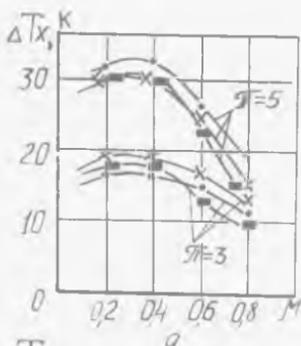
также не влияет на эффект охлаждения (ΔT_x) При уменьшении длины менее $4D$ наступает резкое снижение ΔT_x . Интересно отметить, что с уменьшением длины достижение $\Delta T_{x \max}$ смещается в сторону больших M (от $M=0,4$ при $L \geq 7D$ до $M=0,5-0,6$ при $L=3..7D$).

Смещение величины $\Delta T_{x \max}$ при сохранении своего значения в сторону больших M наблюдалось также при повороте горячего конца ВТ на 90° при установке спрямляющей крестовины и сетки на торце камеры энерго-разделения перед дроссельным вентиляем.

Полученные экспериментальные данные позволяют проследить влияние масштабного фактора на работу неохлаждаемых ВТ в широком диапазоне диаметров. В приведенных на рис. 3 зависимостях использованы данные из работ [1, 4]. Как видно из графиков, наблюдается расхождение между данными, обобщенными в [4] и полученными в результате экспериментальных исследований в ОТИХП. Причем расхождение увеличивается с



Р и с. 3. Зависимость максимального эффекта охлаждения неохлаждаемых ВТ от масштабного фактора: \circ - [4]; \blacktriangle - экспериментальные данные авторов



уменьшением масштаба. Это несоответствие может быть объяснено как 100%-ной влажностью воздуха, на котором проводились эксперименты, так и отсутствием ранее надежных данных о трубах диаметром менее 5 мм. Существенное влияние масштаба на работу неохлаждаемых вихревых труб, особенно в области диаметров (2-7 мм), объясняется возрастающим влиянием подмешивания пограничного слоя, стекающего по плоскости диафрагмы.

Р и с. 2. Результаты экспериментальных исследований неохлаждаемых ВТ: а - зависимость эффекта охлаждения $D = 3$ мм от угла конусности камеры энерго-разделения: \blacktriangle - $\alpha = 6^\circ$; \times - $\alpha = 5^\circ$; \bullet - $\alpha = 2^\circ$; б - зависимость эффекта охлаждения $D = 2$ мм от относительной длины \circ - $M = 0,4$; \blacktriangle - $M = 0,6$

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что для неохлаждаемых ВТ диаметром менее 5 мм величина K (I) принимает численные значения $K = 0,007-0,008$ мм.

Л и т е р а т у р а

1. Азаров А.И. Разработка и исследование холодильников для транспорта. - Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Одесса, ОТИП, 1974.

2. Гоголин В.А. Теплопередача в воздушных аммиачных конденсаторах. - М.: Холодильная техника, № 10, 1976.

3. Мартыновский В.С., Парулейкар Б.Б. Эффективность вихревого метода охлаждения. - М.: Холодильная техника, № 10, 1976.

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

УДК 621.565.3

Л.М.Дыскин, П.Т.Крамаренко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВЫХ МИКРОТРУБ

Сведения о характеристиках адиабатных ВТ диаметром от 4 до 5 мм приведены в работах [1, 2, 3, 4]. По данным работы [3] при степени расширения газа $\mathcal{L} = 6$ холодопроизводительность труб диаметром 4 и 5 мм составляет 25 и 40 Вт, а адиабатный к.п.д. 14,5 и 19% соответственно.

Нами были проведены экспериментальные исследования цилиндрических и конических ВТ диаметром 1, 2 и 3 мм, какие-либо сведения о характеристиках которых в литературе отсутствуют.

Для проведения испытаний использовалась опытная установка, конструктивная схема которой показана на рис. 1.

С целью уменьшения потерь холода камера энергетического разделения 2 и диафрагма 3 выполнены из фторопласта, а патрубок охлажденного потока 4 с резьбовой крышкой изготовлен из оргстекла. Остальные детали установки изготовлены из латуни. Камера 2 имеет длину 20 мм. С помощью резьбовой втулки 1 она соединена с трубкой 8. Таким образом, полная длина вихревой трубы складывается из длин камеры 2 и трубки 8.

Для исследования конических труб отверстие в камере 2 выполнялось коническим с полным углом раскрытия 3° . Сопрягаемая с камерой трубка 8 сохранялась при этом цилиндрической.

Сжатый воздух подается через патрубок 6 в корпус 7 и затем в сопловой впуск 5. Доля холодного потока регулируется дросселем 9.