

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) при расширении воздуха давлением 20 МПа в ВТ нецелесообразно использование более двух ступеней расширения;

2) ступенчатое расширение воздуха в двух ВТ позволяет увеличить эффект охлаждения в сравнении с расширением воздуха в одной трубе на 15-20% при расширении с 20 до 0,1 МПа и на 5-10% при расширении с 3,6 до 0,1 МПа.

Л и т е р а т у р а

1. Меркулов А.И. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 183 с.
2. Поляков А.А., Лепяко А.П., Ильина Н.И. Повышение эффективности работы вихревых труб. - Холодильная техника, 1982, № 4, с. 29-32.
3. Поляков А.А., Лепяко А.П. Результаты испытаний адиабатных вихревых труб в широком диапазоне степеней расширения. - Тезисы докладов III Всесоюзной научно-технической конференции по холодильному машиностроению ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, М., 1982, с. 27-28.
4. Сулов А.Д., Чижиков Ю.В. Методика расчета вихревых холодильников. - В сб.: Некоторые вопросы исследования вихревого эффекта и его промышленного применения. - Куйбышев, 1974, с. 95-99.

УДК 621.578

С.О. Муратов, С.В. Приходько, Ю.М. Симоненко*

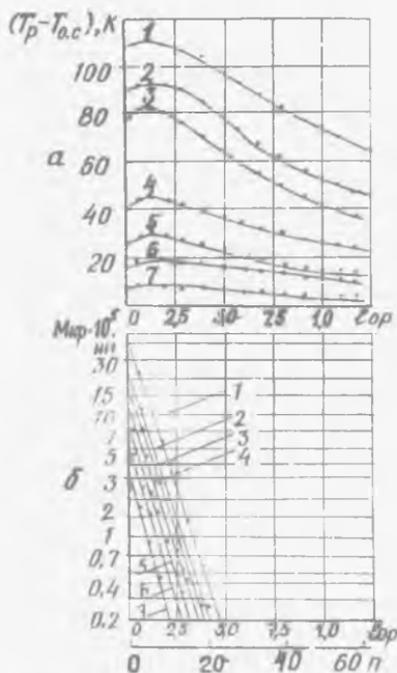
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО ПОТОКА В ОРЕБРЕННЫХ КАМЕРАХ

Расширяющееся использование ВТ с пластинчато-ребристой камерой энергоразделения [1, 2] обусловило необходимость детального исследования температурно-динамических характеристик потока непосредственно в полости оребренной камеры. Для этой цели изготовлен специальный комплект ребер, внешний размер которых соответствовал очертаниям прокладок-дистанцеров. При отсутствии наружного оребрения, а следовательно и теплового зазора от периферии вихря, исследована температура ребер в зависимости от их расположения в пакете (рис. 1,а). Анализ зависимостей, полученных при отношениях давлений $\pi = 1,5-8$, указывает на неравномерность нагрева ребер по длине камеры. Причем увеличение количества ребер до $n = 60$ и толщины прокладок-дистанцеров между ними до $d_{np} = 1,2$ мм

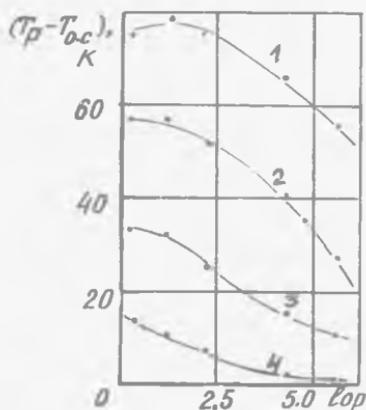
* Работа выполнена под руководством проф. В.П. Алексеева

привело к тому, что разность температур ($T_p - T_{oc}$) первых десяти ребер оказалась на 85% выше, чем у ребер на противоположном конце камеры энергоразделения. Повышение интенсивности тепловода от наружного оребрения приводит к резкому возрастанию неравномерности температуры по длине камеры (рис. 2).

С целью изучения характера движения потока в межреберных щелях и выявления путей выравнивания плотности теплового потока проведено зондирование вихревых слоев по радиусу в нескольких сечениях оребренного участка. Для этого использован двухканальный зонд с приемными отверстиями датчика диаметром 0,8 мм. Возможность

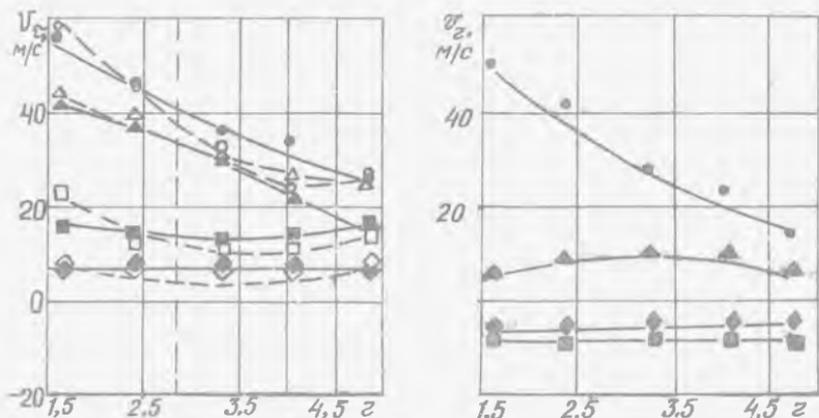


Р и с. 1. Зависимость нагрева ребер ($T_p - T_{oc}$) в адиабатных условиях и момента количества движения вихря $M_{кр}$ от относительной длины оребренной камеры: $D = 10$ мм; $\mu = 1,0$; $f_c = 0,09$; $\epsilon_k = 3$; $d_k = 6$; толщина ребер и прокладок $\delta_p = 0,9$ мм; $Z_{пр} = 1,2$ мм; кривые 1-7 соответствуют $\lambda = 8; 6; 4; 3; 2,5; 2; 1,5$



Р и с. 2. Нагрев основания ребер ($T_p - T_{oc}$) в зависимости от интенсивности охлаждения наружного оребрения $Q_{в}$ при $\lambda = 4$: 1 - $Q_{в} = 0$; 2 - $Q_{в} = 1/3 Q_{в}^{max}$; 3 - $Q_{в} = 2/3 Q_{в}^{max}$; 4 - $Q_{в} = Q_{в}^{max}$

вращения зонда вокруг оси позволяла контролировать локальные давления в трех координатах. На рис. 3 показаны зависимости радиальной и окружной составляющих скорости при различных удалении от оси вихревой трубы. Для первых двух зондируемых сечений характерна относительно высокая окру-



Р и с. 3. Окружная U_z и радиальная U_r составляющие скорости потока в оребренной камере энергоразделения при $Fr = 4$: \circ - $L_{op} = 0$; \triangle - $L_{op} = 0,54$; \blacksquare - $L_{op} = 1,35$; \diamond - $L_{op} = 2,7$

ная скорость, значение которой резко падает с увеличением радиуса. Наличие перфорационных каналов на радиусе $\bar{z} = 4$ приводит к некоторому снижению U_z , что обусловлено появлением осевой составляющей скорости и является доказательством перетока газа из одной межреберной полости в другую [3]. Как следует из зависимости $U_z = f(L_{op})$, интенсивное движение потока от центра к перфорационным каналам наблюдается на сравнительно коротком участке камеры $L_{op} = 0 - 0,54$. На удалении около $L_{op} = 1$ от выхода из конического участка ($\bar{z} = 4$) направление радиальной скорости меняется на противоположное. Причем абсолютная величина U_r при $L_{op} > 2,7$ не превышает 5 м/с. Это подтверждает необходимость использования специальных устройств, побуждающих рециркуляцию периферии потока и способствующих выравниванию тепловой нагрузки по длине камеры.

Измерение скоростей потока в осевой зоне камеры энергоразделения с помощью зонда затруднено из-за малых размеров вихревой трубы ($D = 10$ мм). Поэтому для приближенной оценки величины локального окружного момента количества движения использован косвенный путь - измерялось воздействие вихря на неподвижную крестовину с диаметром, близким к диаметру центрального канала оребренной камеры энергоразделения. Поворотная крестовина вводилась по оси ВТ с помощью вала, соединенного с динамометрами, образующими пару сил. Анализ зависимости величины $M_{кр}$ от L_{op} свидетельствует об экспоненциальном законе изменения окружного момента количества движения вихря. Например, при $Fr = 8$ на расстоянии около $L_{op} = 4D$ от выхода из конического участка окружной момент уменьшается на два порядка. Это свидетельствует о существовании в камерах энергоразделения

оребрённых вихревых труб участка, где теплопередача происходит при весьма низкой интенсивности вращения вихря.

Увеличение длины такой "пассивной" зоны нерационально, поскольку при этом ухудшаются условия охлаждения наиболее теплонапряженных ребер, примыкающих к выходу из конического участка. Таким образом, общая протяженность всей камеры энергоразделения известных охлаждаемых оребрённых устройств может быть сокращена до $L = (5-7)D$ (в том числе $L_k = 3D$ - длина начального конического участка).

Количество ребер в пакете находится в зависимости от толщины прокладок $\delta_{пр}$ ребер δ_r :

$$n = \frac{L_{оп} D}{\delta_{пр} + \delta_r}$$

где $L_{оп} = 2-4$ при $\mathcal{P} = 1,5-8$ соответственно. На основе исследования ВТ с различными характеристиками оребрённых камер энергоразделения определены предпочтительные геометрические размеры основных элементов пакета.

При $D = 3-27$ мм оптимальные толщины ребер и прокладок $\delta_{пр} = 0,1D$; $\delta_r = (0,07-0,12)D$. Высота внутреннего оребрения колеблется от $0,5D$ при $\mathcal{P} = 1,5$ до $2,5D$ при $\mathcal{P} = 8$. Оптимальная высота наружного оребрения зависит от условий его охлаждения и составляет для вентиляторов среднего давления $(1-2,5)D$ при $\mathcal{P} = 1,5-8$ соответственно.

Проведенные исследования температурно-динамических характеристик вихря в оребрённой камере позволили впервые обосновать требуемую протяженность и поверхность охлаждаемых вихревых труб с внутренним и наружным оребрением. Результаты работы использованы при проектировании средств, побуждающих рециркуляцию потока в камере энергоразделения, и перспективных конструкций воздухоохлаждаемых вихревых труб.

Л и т е р а т у р а

1. А.С. 456118 (СССР). Вихревая труба. А.И.Азаров. - Оpubл. в Б.И. № 1, 1975.
2. Алексеев В.П., Азаров А.И., Анисимов А.В., Симоненко Ю.М. Вихревые трубы с внутренним оребрением горячего конца. - Труды II Всесоюзной научно-технической конференции "Вихревой эффект и его промышленное применение". Куйбышев, 1976, с. 113-119.
3. А.С. 470684 (СССР). Вихревая труба. А.И.Азаров. - Оpubл. в Б.И. № 19, 1976.