

Л и т е р а т у р а

1. Hilsch R. Die Expansion von Gasen in Zentrifugalfeld als Kälteprozess. - *Z. für Naturforschung*, 1946, Bd. 1, H. 4, s. 208-214
2. Кольшев Н.Д., Левичев И.В. К вопросу исследования вихревого эффекта на высоких давлениях. - В сб.: Некоторые вопросы исследования теплообмена и тепловых машин. - Куйбышев: КуАИ, 1973, вып. 56, с. 59-63.
3. Азаров А.И., Муратов С.О., Самойлюк Г.П. Температурно-энергетические характеристики маломасштабных вихревых труб. - В сб.: Холодильная техника и технология. - Киев: Техника, 1979, т. 28, с. 26-28.
4. Дыскин Л.М., Севастьянов А.Г. Экспериментальные характеристики вихревых труб судовых озонирующих установок. - В сб.: Проектирование и эксплуатация энергетических установок судов. - Горький: ГИИВТ, 1980, вып. 179, с. 135-150.
5. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. 183 с.
6. Мартынов А.В. Миниатюрная неадиабатная вихревая труба. - Компрессорное и холодильное машиностроение, 1968, № 1, с. 23-24.

УДК 621.574

В.Ю.Ш а д р и н а

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА НА РАБОТУ ОХЛАЖДАЕМОЙ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

Исследования, проведенные в МВТУ им. Н.Э.Баумана под руководством А.Д.Суслова, позволили значительно улучшить эффективность ВТ при оптимальных значениях доли холодного потока 0,8-0,9. Достигнутая эффективность и надежность работы этих устройств позволяют надеяться на возможность их использования в холодильных циклах малорасходных криогенных установок. В работе И.Л.Лейтеса и М.А.Иидкова [1] это предположение подтверждается.

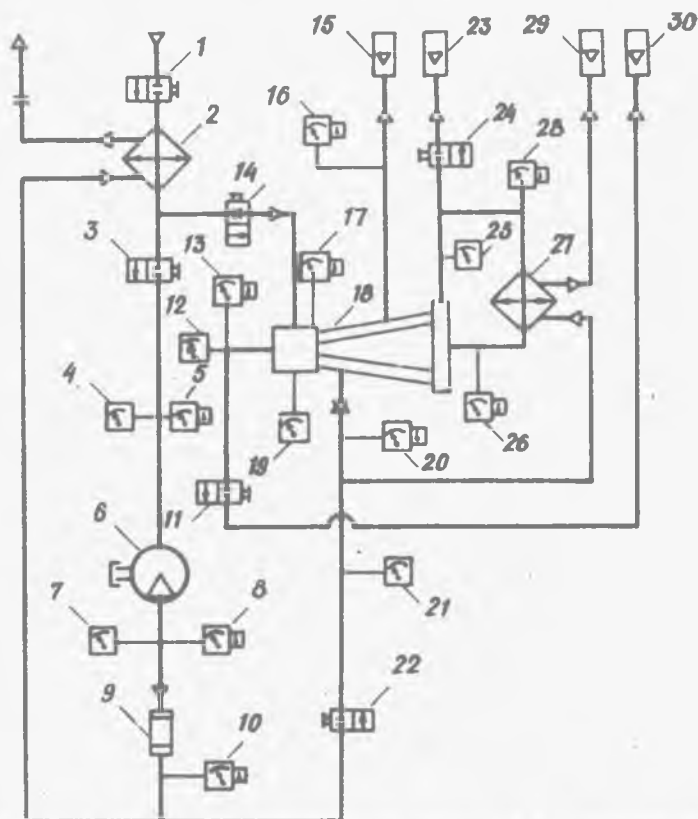
Под руководством В.И.Епифановой проводится исследование возможности применения ВТ в воздухоразделительных установках (ВРУ) малой производительности. Назначение ВТ в этих циклах-перенос части холодопроизводительности холодильной машины на более низкий температурный уровень. Из расчетов нескольких вариантов циклов с ВТ определен диапазон параметров воздуха на входе в ВТ: $P_1 = 18-20$ мПа, $T_1 = 220-250$ К. Степень расширения газа может быть $\epsilon = 2-5$.

Известны исследования вихревого эффекта на высоких давлениях в работах А.П.Меркулова [2], Н.Д.Кольшева и И.В.Левичева [3], Г.А.Комаровой [4], П.А.Колодезного [5]. Зависимость вихревого эффекта от темпе-

ратуры описана в работах В.М.Бродянского, А.В.Мартынова [6] и А.И.Гудяева [7]. Перечисленные работы позволяют надеяться, что эффективность ВТ высокого давления при низких температурах должна быть не ниже эффективности ВТ, работающей в обычном диапазоне давлений и температур.

За основу конструкции экспериментальной охлаждаемой вихревой трубы (ОВТ) высокого давления была использована ОВТ, разработанная А.Д. Сусловым и А.В.Мурашкиным [8].

Схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.



Р и с. 1. Схема экспериментального стенда: 2,7 - теплообменники; 6 - турбодетандер; 18 - ОВТ; 9 - электроподогреватель; 1,3, 11, 14, 22, 24 - запорные вентили; 4, 7, 12, 19, 21, 25 - манометры; 5, 8, 10, 13, 16, 17, 20, 26, 28 - термометры; 15, 23, 29, 30 - ротаметры

Сжатый воздух после компрессора через вентиль 6 поступает в теплообменник I. После теплообменника часть потока расширяется в турбодетандере 3 и через подогреватель воздуха 5 подается в теплообменник I для охлаждения прямого потока. Оставшаяся часть потока направляется в ОВТ 4. Для охлаждения корпуса ОВТ и горячего потока в теплообменнике 2 используется часть холодного детандерного потока. Расходы холодного, горячего и охлаждающего потоков замерялись ротаметрами РС-7, для замера давлений использовались образцовые манометры, а для температур – медно-константановые термпары, подключенные к регистрирующему прибору КСП-4.

Испытания проводились на конической ЕТ диаметром 8 мм, конусностью 7° и длиной 12 калибров. Относительная площадь соплового аппарата $f_c = 0,08$.

В настоящее время проведены испытания ОВТ для давлений воздуха до 5 МПа и степеней расширения $\epsilon = 2-5$.

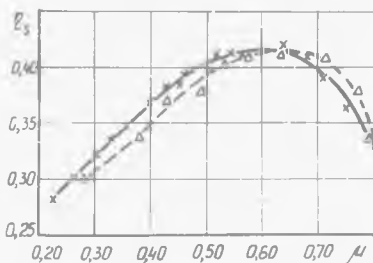
Эффективность работы ОВТ оценивалась изэнтропным к.п.д.:

$$\eta_s = \frac{\Delta i}{\Delta i_s}$$

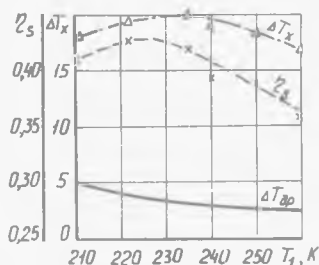
где Δi – изменение энтальпии холодного потока в реальном процессе;
 Δi_s – изменение энтальпии холодного потока при изэнтропном процессе расширения.

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость изэнтропного к.п.д. η_s от доли холодного потока μ , полученная при $T_1 = 250\text{K}$, степени расширения $\epsilon = 3$ и давлениях входа газа $P_1 = 2\text{ МПа}$, $P_1 = 5\text{ МПа}$

Характеристика имеет максимум изэнтропного к.п.д. в диапазоне $\mu = 0,50-0,70$. В ВРУ из условия обеспечения нормальной работы основного теплообменника доля холодного потока должна составлять $\mu = 0,60-0,70$.



Р и с. 2. Зависимость η_s от μ для ОВТ при $T_1 = 250\text{ K}$, $\epsilon = 3$ и для давления газа на входе в ОВТ: $-P_1 = 2\text{ МПа}$, $---P_1 = 5\text{ МПа}$



Р и с. 3. Изменение η_s и ΔT_k в зависимости от T_1 для ОВТ при $\epsilon = 2$, $P_1 = 2\text{ МПа}$, $\mu = 0,7$

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости η_s и ΔT_k от температуры входа газа T_1 . Уменьшение значения ΔT_k при снижении темпе-

ратуры входа, возможно, было связано с отклонением геометрии ОБТ от оптимальной. Поэтому характеристики ОБТ в диапазоне температур входа газа ниже 220 К требуют уточнения. Прирост ΔT_x на 10% вызывает увеличение изэнтропного к.п.д. на 17%. Это связано с реальными свойствами воздуха: располагаемый теплоперепад при изэнтропном расширении Δt_z при понижении начальной температуры с 260 до 220 К уменьшается на 16%. На этом же графике приведена расчетная кривая изменения дроссель-эффекта. Область увеличения прироста $\Delta T_{гр}$ совпадает с областью снижения ΔT_x . Однако в диапазоне температур входа 220-250 К ОБТ показала вполне удовлетворительную эффективность.

Для окончательного вывода о применимости ОБТ в ВРУ высокого давления необходимо провести испытания ОБТ высокого давления. Предварительные испытания ОБТ для давлений входа до 15 МПа при $T_x = 250$ К показали, что пульсационные давления при повышении давления усиливаются и снижают эффективность ОБТ до 25%. Режим работы ОБТ при $M = 0,8$ становится неустойчивым. Для успешного решения поставленной задачи необходима доработка конструкции и оптимизация геометрических параметров ОБТ.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- 1) Проверена работоспособность ОБТ в диапазоне температур $T_x = 210-260$ К и давлений до 5 МПа.
- 2) Проведены предварительные испытания ОБТ высокого давления. Повышение давления воздуха до 15 МПа на входе в ОБТ сопровождается пульсацией давления горячего потока.

Л и т е р а т у р а

1. Лейтес И.Л., Жидков М.А. Термодинамическая эффективность вихревого эффекта в низкотемпературных процессах. - Материалы III Всесоюзной научно-технической конференции "Вихревой эффект и его промышленное применение". - Куйбышев: 1981, с. 80-84.

2. Меркулов А.П., Колышев Н.Д. О целесообразности использования вихревого эффекта на высоких давлениях. - Труды КуАИ, 1961, вып. 12.

3. Колышев Н.Д., Левичев И.В. К вопросу исследования вихревого эффекта на высоких давлениях. - Труды КуАИ, 1973, вып. 56, с. 59-63.

4. Комарова Г.А. Исследование вихревого эффекта при высоких давлениях. Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - М.: 1978. - 181с.

5. Колодезный П.А. Анализ испытаний вихревой камеры на высоких давлениях. - В сб.: Нефть и газ Тюмени. - Тюмень, 1969, № 3, с. 61-68.

6. Бродянский В.М., Мартынов А.В. Зависимость эффекта Ранка-Хилша от температуры. - Теплоэнергетика, 1964, № 6, с. 76-78.

7. Гуляев А.И. Эффект Ранка при низких температурах. - ИФЖ, 1965, т. 9, № 3, с. 354-357.

8. Суслов А.Д., Мурашкин А.В. Циркуляция горячего потока как метод повышения эффективности вихревой трубы. - Материалы III Всесоюзной научно-технической конференции "Вихревой эффект и его промышленное применение". - Куйбышев, 1981, с. 99-102.

УДК 533.17

А.А.П о л я н о в

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИХРЕВЫХ ТРУБ ПРИ БОЛЬШИХ СТЕПЕНЯХ РАСШИРЕНИЯ

Результаты исследований [1, 2, 3, 4, 5] показали, что при рациональном сочетании режимных и геометрических параметров ВТ может быть значительно повышена эффективность ее работы во всем диапазоне степеней расширения. В частности, на предыдущих конференциях докладывались результаты испытаний ВТ диаметром $D = 0,042$ м, спроектированной с учетом анализа процессов, происходящих внутри ВТ, при степенях расширения $\pi = 3-12$ [1, 2].

Полученные результаты показали возможность повышения эффективности работы ВТ за счет изменения площади проходного сечения соплового ввода. В настоящей работе предлагаются результаты дальнейших испытаний ВТ при степенях расширения $\pi_{гр} = 8-36$ и долях холодного потока $M = 0,1-0,9$. Испытывалась коническая ВТ диаметром $D = 0,03$ м, с длиной вихревой камеры $L = 0,45$ м ($L/D \approx 15$). Угол конусности вихревой камеры $\gamma_k \approx 3,5^\circ$. Длина конической трубки холодного потока $L_x = 0,15$ м ($L_x/D \approx 5$), угол конусности патрубков холодного потока $\gamma_x \approx 15,5^\circ$. Конструкция ВТ позволяла изменять площадь сечения соплового ввода и диаметр отверстия диафрагмы ($f_c = 0,035; 0,045; 0,057; 0,07; 0,102$ и $d_g = 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,64; 0,7$).

Влияние относительной площади проходного сечения соплового ввода.

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента температурной эффективности работы вихревой трубы от относительной площади сечения соплового ввода для $d_g = 0,45$. Из рисунка видно, что при высоких степенях расширения f_c имеет некоторое оптимальное значение в зависимости от режима работы. Анализ полученных зависимостей показывает, что для определения оптимальной площади соплового ввода может быть использована полученная ранее [4] зависимость

$$\bar{f}_c^{opt} = 0,01 + 0,2 \pi^{-0,6} M^{-0,6} \gamma_k^{1,7} D^{-0,2}$$