

ширения многокомпонентной конденсируемой смеси доказана эффективность вихревой низкотемпературной сепарации природного газа.

Экспериментально установлено значительное влияние соотношения скоростей v_r/v_0 и расхода газа отдувки на эффективность работы вихревого сепаратора.

В.Г. Воронин, Ю.В. Чижиков, Л.П. Левин

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДИЦИОНЕРА С ВИХРЕВЫМ ВАКУУМ-НАСОСОМ

Принятые обозначения

$\Delta T_1 = T_1 - T_6$ - эффект охлаждения воздуха в установке, град	P_1 - давление сжатого воздуха на входе в установку, ат
T_1 - температура воздуха на входе в установку, град	$\pi = \frac{P_1}{P_0}$ - степень расширения воздуха
T_6 - температура воздуха на выходе из установки, град	$\mu = c_x/c$ - доля охлажденного потока

и многих достоинствах применения вихревой трубы основным ее недостатком является низкая экономичность происходящего в ней энергетического разделения. Поэтому при использовании вихревой трубы в системах термостатирования воздуха для повышения эффективности следует стремиться к максимальной утилизации энергии вытекающих из вихревой трубы потоков.

Одним из возможных путей решения поставленной задачи является утилизация энергии подогретого потока воздуха в струйных устройствах, например, в вихревом вакуумном насосе, с использованием охлаждаемой вихревой трубы, как более эффективной по сравнению с неохлаждаемой. Особенностью существующих схем термостатирования с вихревыми трубами является применение регенеративных теплообменников, позволяющих регулировать температуру воздуха, идущего к потребителю, в которых в качестве хладагента используется вода. Эффект охлаждения воздуха от применения вихревого вакуум-насоса в предположении $\mu = 0,6$ выражается зависимостью

$$\Delta t_1 = \frac{0,4 (2 + c_{p2} t_n) a}{c_p}$$

Эффект охлаждения в вихревой трубе можно оценить зависимостью -

$$\Delta t_x = \eta \left[1 - \left(\frac{1}{\beta} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right] \left[t_1 - \frac{0,4(z + c_{pn} t_1) n}{c_p} \right],$$

где z - скрытая теплота парообразования для воды, дж/кг.град;

c_{pn} и c_p - удельная теплоемкость водяного пара и воды,
дж/кг.град;

n - коэффициент эжекции вакуум-насоса.

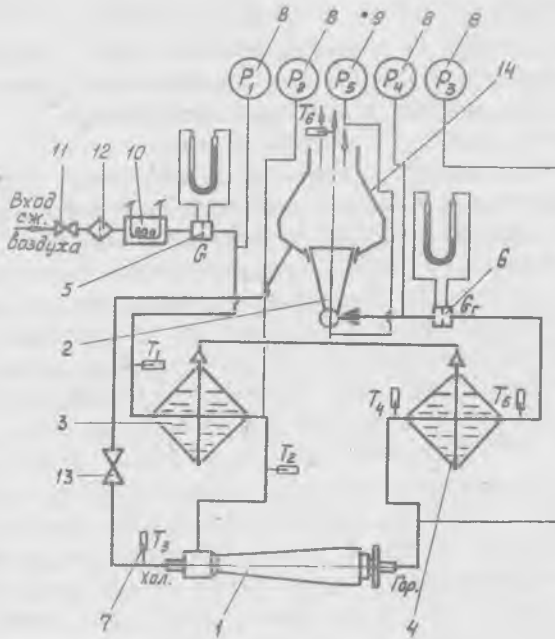
Оценка эффективности применения вихревого вакуум-насоса для конкретных условий: $P_1 = 6 \text{ атм.}$; $t_1 = +50^\circ\text{C}$; $\eta = 0,45$, $z = 236 \times 10 \text{ Дж/кг.град}$; $t_n = 45^\circ\text{C}$; $P_{sc} = 0,1 \text{ атм.}$; $n = 0,03$; $\mu = 0,6$ показала, что без учета потерь эффект охлаждения возрастает на 20-25%. Как правило, все системы термостатирования (СТС) работают в двух основных режимах:

"охлаждение" - лето, "обогрев" - зима.

Количество подаваемого в термостатируемый объект воздуха, а также его температура и влажность определяются в каждом конкретном случае тепловыделениями объекта, а также климатическими условиями района его размещения. С точки зрения обеспечения термостатирования в режиме "охлаждение", заслуживает внимания Средне-Азиатская зона СССР, для которой имеются статистически обработанные результаты длительных (за последние 10 лет) наблюдений по составляющим температурного режима этой зоны. Согласно техническим требованиям к СТС температура в отсеках объекта должна поддерживаться в пределах от $+5$ до $+35^\circ\text{C}$ и скорости ветра до 25 м/сек. Максимум солнечной активности приходится на 12-16 часов пополудни, в остальное время суток теплопритоки и температура внутри объекта лишь незначительно превосходят требуемый предел. СТС можно рассчитывать на номинальные теплопритоки порядка 350-400 ккал/м² час. Для съема же дополнительного теплового потока в часы "пик" можно предусмотреть систему, которая бы дополняла основную и использовала энергию основной СТС. Подобное решение позволит сократить энергоемкость основной СТС, т.е. повысить к.п.д. основной системы. Предварительный расчет конкретной системы на осредненные теплопритоки показал, что при снижении температуры холодного потока с помощью вспомогательной установки на 2-3⁰ по сравнению с температурой воздуха, подаваемого на термостатирование от основной СТС, возможно снизить установочную мощность компрессорной станции, питающей СТС на 25-30%.

В режиме "обогрев" относительная влажность воздуха, подаваемого на обогрев объекта, составляет 20 - 30%, что приводит к пересушиванию электроизоляции и теплоизоляции внутреннего набора объекта. В этом случае вспомогательная установка термостатирования может быть использована для повышения влажности воздуха, подаваемого на термостатирование.

На рис. I представлена принципиальная схема экспериментальной установки термостатирования, которая включает вихревую трубу I,



Р и с. I. Принципиальная схема экспериментальной установки

вихревой эжекционный вакуумный насос 2, водо-воздушные испарители 3 и 4, расходомерные устройства 5 и 6, измерители температуры 7, измерители давления 8, измеритель разряжения 9, подогреватель 10, вентили 11 и 13, фильтр 12, смеситель 14. Работа установки осуществляется следующим образом: сжатый воздух от источника через вентиль 11, фильтр 12, электроподогреватель 10 подается в трубную полость испарителя 3, межтрубная полость которого заполнена водой,

из испарителя 3 воздух поступает в сопловой ввод вихревой трубы 1, в которой воздух разделяется на два потока - охлажденный и подогретый. Температура охлажденного потока ниже, чем температура воздуха на входе в вихревую трубу 1. Охлажденный поток через вентиль 13 направляется в смеситель 14, а подогретый - поступает в трубную полость испарителя 4, и далее в сопло вихревого эжекционного вакуумного насоса 2, всасывающая зона которого соединена с паровыми полостями испарителей 3 и 4. Подогретый поток через насос 2 поступает в смеситель 14, где смешивается с охлажденным потоком или выбрасывается в атмосферу. Вихревая труба выполнена конической с характеристиками:

$$F_c = 38,7 \text{ мм}^2; D = 20 \text{ мм}, d_g = 10 \text{ мм}; L = 200 \text{ мм}; \alpha = 3^\circ.$$

Вихревой эжекционный вакуумный насос 2 имеет характеристики:

$$F_c = 23,8 \text{ мм}^2; D = L = 12 \text{ мм}, d_g = 1,2 \text{ мм}; R_{\text{эфф}} = 30 \text{ мм}; \Delta \text{эфф} = 1 \text{ мм}.$$

Температура воздуха, подаваемого на вход в установку (T_1) поддерживалась с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$ в интервале $+30; +40; +50; +60; +70^\circ\text{C}$.

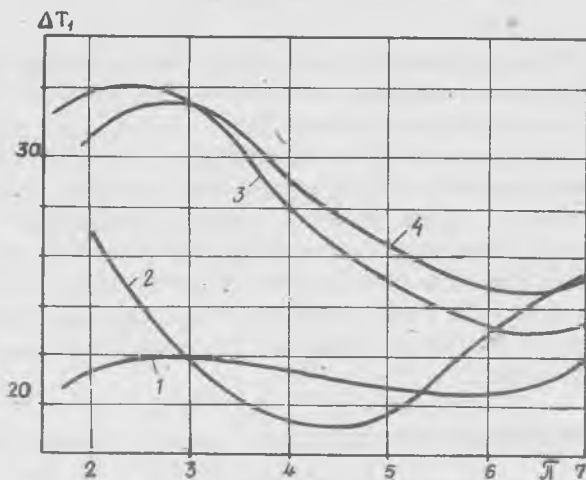
Давление воздуха (P_1) поддерживалось в пределах от 1 до 7 ата с интервалом 1 ата для каждого интервала входных температур. Регулировка соотношения выходных потоков проводилась дросселем, установленным на горячем конце вихревой трубы 1. В процессе испытаний температура охлажденного потока поддерживалась в пределах $+20 + 5^\circ\text{C}$. Результаты испытаний обобщены в виде графика, представленного на рис. 2, где изображена зависимость $\Delta T_1 = f(\pi)$. График показывает, что с ростом T_1 эффект охлаждения растет, достигая максимума при $\pi = 2-3$. При дальнейшем росте π эффект падает, причем начиная с определенного значения π для каждой температуры T_1 снова имеет тенденцию к росту в диапазоне $\pi > 6$.

Эксперименты также показали, что при возрастании входного давления при $\mu = \text{const}$ T_6 монотонно растет с ростом T_1 .

В ы в о д ы

1. Экспериментально подтверждена возможность создания компактной установки, способной снимать " пиковые " нагрузки при термостатировании объектов совместно с основной СТС, которая рассчитывается на средние теплопритоки.

2. Максимальный эффект теплоотвода в кондиционере достигается путем выбора оптимальной величины μ .



Р и с. 2. Зависимость эффекта охлаждения воздуха в установке от степени расширения в вихревой трубе: при $\mu = 0,88$

1 - $T_1 = 40^\circ\text{C}$; 2 - $T_1 = 50^\circ$; 3 - $T_1 = 70^\circ$;
4 - $T_1 = 60^\circ$

3. Теплосъем в испарителе, установленном на входе сжатого воздуха при $\lambda = 5 \dots 8$ ата, мал, поэтому для его увеличения необходимо установить или многоходовой испаритель, или увеличить степень разряжения в паровой полости испарителя.

Л и т е р а т у р а

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М., "Машиностроение", 1969 г.
2. Антипенко И.Н., Данилов Н.В., Кузнецов Б.И. Эксплуатация систем кондиционирования воздуха пассажирских самолетов. М., "Транспорт", 1974.
3. Кутателадзе С.С., Борیشانский В.М. Справочник по теплопередаче. Госэнергиздат, 1959.