

оптимальная  $f = 0,1$ ). В индивидуальном кондиционировании могут быть использованы вихревые трубы диаметром 5, 10 мм. При диаметре 5 мм и степени расширения 4 могут быть получены температурные эффекты охлаждения до 25 К. В трубе диаметром 10 мм при той же степени расширения может быть получено понижение температуры до 30К, а в трубе диаметром 15 мм и более 40 К. В трубе диаметром 20 мм эффект охлаждения составляет несколько более 30 К, что недостаточно по сравнению с трубой диаметром 15 мм. Это имеет место за счет малой относительной площади сопла в трубе диаметром 20 мм ( $f_c = 0,111$  против  $f_c = 0,152$ ). Характеристики вихревых труб диаметром 5, 10, 15, 20 мм приведены на рис. 1-4.

Приведенные характеристики могут быть использованы при создании автономных кондиционеров, например для охлаждения масок сварщика, при покраске изделий и др.

#### Библиографический список

И. Борисенко А.И., Сафонов В.А., Яковлев А.И. Влияние геометрических параметров на характеристики конического вихревого холодильника //Инженерно-физический журнал. Т. 15. № 6. 1968. С. 988-993.

УДК 621.59

Ю.М.Симоненко, А.Ф.Дроздов, Т.А.Крымова

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДРОССЕЛЬНОЙ СТУПЕНИ ОЖИЖИТЕЛЯ ГЕЛИЯ С ВИХРЕВОЙ ТРУБОЙ

(Одесский институт низкотемпературной  
техники и энергетики)

Приведены результаты исследований вихревого криогенератора, используемого в качестве предварительного охлаждения потока, подаваемого в дроссельную ступень. Показано, что оптимальный расход рабочего тела для систе-

ISBN 5-230-16926-5

Вихревой эффект  
и его применение в технике.  
Самара, 1992

мы с вихревой трубой повышается. Производительность установки за счет использования вихревого агрегата повышается от 10 до 20%.

Успешное развитие многих направлений современной науки и техники связано с необходимостью термостатирования разнообразных объектов в условиях криогенных температур. Для этих целей, наряду с созданием крупномасштабных ожижителей гелия, все чаще находят применение компактные лабораторные системы производительностью до 10 л/ч.

Важным резервом повышения эффективности ожижителей гелия является снижение температуры прямого потока перед дроссельной ступенью. При смещении начального уровня температур на входе в ступень с 20 до 15 К коэффициент ожижения

$$X_0 = \frac{\Delta i_{TB} - C_D \Delta T_H - q}{i_B - i_0} \quad (1)$$

увеличивается с 2 до 12%. В формуле (1) приняты обозначения:

$\Delta i_{TB}$  - изотермический эффект дросселирования на температурном уровне  $T_B$ ;  $C_D$  - теплоемкость обратного потока гелия;  $q$  - величина удельных теплопритоков;  $\Delta T_H$  - недорекуперация на теплом конце теплообменника.

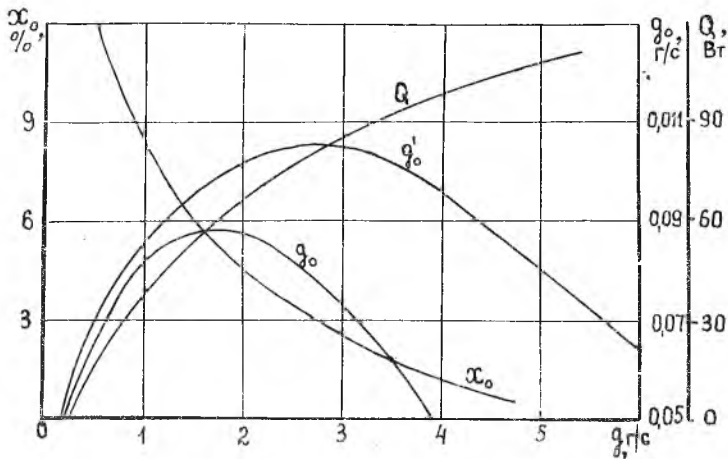
В качестве предварительных ступеней охлаждения в известных установках используются ванны с кипящим при пониженном давлении водородом, детандеры и криогенные газовые машины (КГМ) [1]. Учитывая неоспоримые эксплуатационные преимущества трубы Ранка и основываясь на результатах испытаний маломасштабных устройств на гелии, авторы разработали нижнюю ступень ожижителя с дополнительным каскадом в виде вихревой трубы с утилизацией энергии горячего потока в вихревом эжекторе (рис. 1).

К достоинствам принятой схемы вихревого агрегата относится высокий уровень адиабатного КПД при больших перепадах давлений [2]. Это позволило ограничиться одной ступенью вихревого энергоразделения при традиционных для гелиевых циклов давлениях сжатого газа от 2,0 до 2,5 МПа.

Дроссельная ступень с вихревым криогенератором работает следующим образом. Прямой поток поступает в теплообменник-рекуператор 3, где охлаждается обратным потоком. Часть гелия с расходом  $U$



ния перед дроссельной ступенью. Между тем, для газовых криогенных машин (например КГМ 100/20), входящих в состав ряда гелиевых ожижителей, характерно снижение холодопроизводительности от номинальной при 20 К до нулевого уровня при 12–14 К.



Р и с. 2. Характеристики дроссельных ступеней с охлаждением потока в КГМ:  $Q$  — холодопроизводительность КГМ;  $x_0$  и  $g_0$  — коэффициент ожижения и производительность базовой установки;  $g'_0$  — производительность системы с вихревой трубой

Таким образом, совокупная работа КГМ и дроссельной ступени характеризуется влиянием двух взаимно противоположных факторов: возрастанием коэффициента ожижения по мере снижения температуры потока и падением при этом холодопроизводительности КГМ (рис. 2). Очевидно, что такая особенность КГМ фактически предопределяет необходимость снижения абсолютного расхода гелия, подаваемого в ступень ожижения, как раз в той области температур, где теплофизические свойства рабочего агента допускают возможность реализации максимального уровня эффективности.

В результате проведенных расчетов установлено, что величина оптимального расхода рабочего тела для системы с вихревым криогенератором и машиной типа КГМ 100/20 находится в диапазоне от 2 до 3 г/с, что соответствует производительности компрессора от 40 до

60 нм<sup>3</sup>/ч. Максимальный расход жидкого гелия на 20% превысил производительность базового ожижителя без вихревого агрегата при одновременном увеличении энергозатрат на 35%. В случае же сохранения расхода 1,8 г/с, характерного для оптимального режима базового образца, выход жидкого гелия повышается на 10%, но в этом случае рост производительности достигается при неизменных эксплуатационных затратах.

На основе проведенных исследований проведена модернизация микроожижителя гелия, входящего в состав многоцелевого криогенного комплекса, создаваемого в ОИНТЭ, и разработаны рекомендации по совершенствованию аналогичных установок, используемых в ряде лабораторий.

#### Библиографический список

1. Г и л ь м а н И.И., Г р и г о р е н к о Н.М. и др. КИМ Стирлинга и перспективы их применения в холодильной технике //Пути интенсификации производства с применением искусственного холода: Мат-лы Всесоюз. науч.-техн. конф. /Одесск. ин-т хол.пром. Одесса, 1989. Т. IV. С. 30.

2. А.с. 1135974 СССР. МКИ<sup>3</sup> Е25В 9/02. Холодильная установка. /А.Ф.Д р о з д о в, Ю.М.С и м о н е н к о; Опубл. 23.01.85. Бюл. № 3.

УДК 533.697.3

С.О.Муратов

УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА АДИАБАТНЫХ  
И ОХЛАЖДАЕМЫХ ВИХРЕВЫХ ТРУБ

(Одесский институт низкотемпературной  
техники и энергетики)

Предложена уточненная методика расчета и схема идеальной модели адиабатной вихревой трубы. Приводятся сопоставления результатов рас-

---

ISSN 5-230-16926-5

Вихревой эффект  
и его применение в технике.  
Самара, 1992