

60 нм³/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. МКИ³ 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

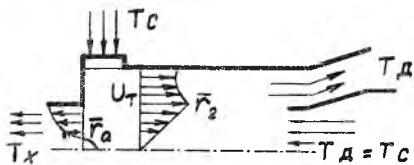
Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992

чета по данной методике с ранее известными, а также экспериментальные данные исследования вихревых труб.

Условные обозначения: \bar{r}_2 — относительный радиус разделения вихрей; \bar{r}_a — относительный радиус нулевой осевой составляющей скорости течения; V_T — тангенциальная составляющая скорости течения; $A = (\rho_{oc}/\rho_1)^{\frac{k-1}{k}}$; $B = \frac{k-1}{2} M_1^2 / \bar{r}_2^4$; $C = (\rho_x/\rho_1)^{\frac{k-1}{k}}$.

В основу методики расчета положен анализ энергетических преобразований в вихревой трубе, сформулированный в гипотезе взаимодействия вихрей. Теоретически эффект энергоразделения реализуется в противоточной вихревой трубе с вдувом дополнительного потока (рис. 1) [1].

В работе [2] рассмотрен вопрос об уточнении предельных характеристик, учитывающих влияние осевой составляющей скорости течения приосевого потока (вынужденного вихря). Распределение полной температуры холодного потока по радиусу в этом случае принимает вид:



Р и с. 1. Противоточная вихревая труба с вдувом дополнительного потока

в зоне истечения —

$$T^*(\bar{r}) = T_1 (2A + 3B\bar{r}^2 - C),$$

в зоне подсосывания (центральная часть диафрагмы) —

$$T^{**}(\bar{r}) = T_1 [2A + 3B\bar{r}^2 - (A + B\bar{r}^2)/C],$$

при критическом отношении давлений на диафрагме —

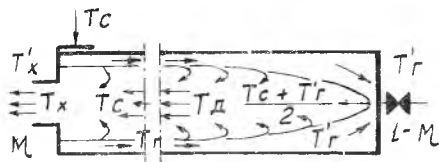
$$T_{кр}^*(\bar{r}) = T_1 \left(\frac{k+1}{2} A + \frac{k+3}{2} B\bar{r}^2 \right).$$

Уточненный радиус, на котором достигается критическая скорость, станет равным:

$$\bar{r}_{кр} = \sqrt{\frac{\frac{2}{k-1} C - A}{B}}$$

Принятая в изложенных методиках [1, 2] идеальная модель значительно отличается от картины течений в действительной адиабатной вихревой трубе. В частности, она предусматривает наличие дополнительного потока, из которого формируется вынужденный (центральный) вихрь, причем температура этого потока равна температуре сжатого газа.

Для того чтобы расчетная схема отражала действительную картину потоков в противоточной вихревой трубе, предложено включить в "основную" расчетную схему (см. рис. 1) дополнительную камеру энергоразделения, снабженную дросселем. Предлагаемая модель условно изображена на рис. 2.



Р и с. 2. Противоточная вихревая труба с дополнительной камерой энергоразделения, снабженной дросселем: а - левая часть установки; б - правая часть установки

Как следует из анализа течений закрученных потоков в вихревой трубе, формирование присоевого (вынужденного) вихря происходит по всей длине камеры энергоразделения путем перетока элементов внешнего (свободного) вихря в радиальном направлении.

Таким образом, вынужденный вихрь, двигаясь к диафрагме, участвует в энергообмене с внешними слоями так, что температура формирующего потока изменяется от T_c (в сопловом сечении) до T_r (температура потока в околодроссельном пространстве). Полагая характер перехода элементов горячего потока в более холодный (околоосевой) равномерным, величину энергии $i_{\text{вын}}$, с которой формируется вынужденный (центральный) вихрь, можно представить в следующем виде:

$$i_{\text{вын}} = \mu \frac{T_c + T_r}{2} C_p, \quad (1)$$

где μ - относительная доля холодного потока, выходящего через диафрагму, численно равная доле вынужденного вихря.

Для обеспечения совместимости "дополнительной" камеры энергоразделения с ранее рассмотренной моделью (см. рис. 1) требуется соблюдение равенства энергий потока, вводимого в основную схему

(в качестве дополнительного потока) $i_{доп} = \mu T_c C_p$ и потока, выходящего из "дополнительной" камеры энергоразделения $i_{вын}$ (I).

Несоответствие величин $i_{доп}$ (в первоначально рассмотренной схеме на рис. I) и $i_{вын}$ (определяемой с учетом условий формирования вынужденного вихря), отразится на общем тепловом балансе всей установки:

$$\Delta i = i_{вын} - i_{доп}$$

и приведет к отклонению значения действительной температуры холодного потока T'_x от ранее рассчитанной T_x .

Запишем систему уравнений тепловых балансов левой части установки (рис. 2,а), правой части установки (рис. 2,б) и всей установки:

$$\begin{cases} \mu T_x + T_r = T_c + \mu T_c; \\ T_r = \mu (T_c + T_r^2) / 2 + (1 - \mu) T_r^2; \\ \mu T_x^2 + (1 - \mu) T_r^2 = T_c. \end{cases}$$

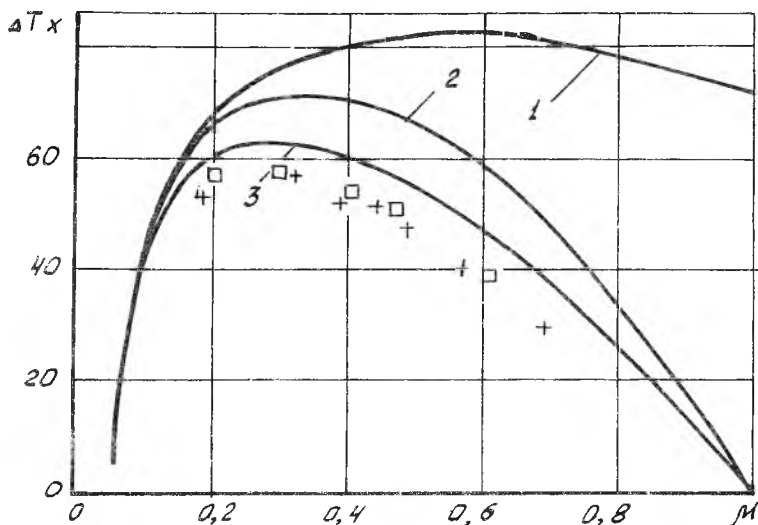
Решая эту систему уравнений относительно конечной температуры холодного потока T'_x , получаем

$$T'_x = \frac{\mu T_c - 2T_x(1 - \mu)}{2 - \mu}.$$

В случае охлаждения камеры энергоразделения (охлаждаемая вихревая труба) величина энергии, с которой формируется вынужденный вихрь $i_{вын}$, уменьшается и в предельном случае достигает равенства с $i_{доп}$, при этом расчет сводится к расчету по схеме рис. I. Для промежуточных режимов по расчетной температуре T_r (из теплового баланса схемы рис. I) и теплового расчета камеры энергоразделения (как теплообменника) определяется температура T'_r и корректируется конечная температура холодного потока T'_x .

На рис. 3 представлены предельные температурно-энергетические характеристики, рассчитанные по методике А.П. Меркулова (вихревая труба с вдувом дополнительного потока, изображенная на рис. I), по соотношениям, учитывающим неадиабатность распределения параметров по радиусу вихревой трубы введением понятия "мгновенного показате-

ля" термодинамического процесса μ [3] и по предложенной в данной работе расчетной схеме.



Р и с. 3. Расчет по методике А.П.Меркулова: 1 - расчет по работе [3]; 2 - расчет автора; 3 - эксперимент $D = 20$ мм - \blacklozenge ; эксперимент $D = 16$ мм - \square

На рис. 3 в графическом виде представлены также результаты работы вихревого воздухоохлаждителя $D = 20$ мм и $D = 16$ мм на режимах, соответствующих расчетным. Как видно из рис. 3, расчетные значения ΔT_x достаточно хорошо согласуются с результатами эксперимента. Более низкие значения ΔT_x , полученные в эксперименте, объясняются влажностью сжатого воздуха ($\varphi = 100\%$).

Библиографический список

1. Меркулов А.П. Энергетика и необратимость вихревого эффекта / Вихревой эффект и его промышленное применение / Куйбышев. авиац.ин-т. Куйбышев, 1981. С.5-9.

2. Азаров А.И., Кузьмин А.А., Муратов С.О. Расчет предельных температурно-энергетических характеристик проти-

воточной вихревой трубы // Вихревой эффект и его применение в технике / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988. С. 23-27.

З. Кудрявцев В.М., Сукачева В.М., Токарев Г.П., Цыбров А.Ю. Расчет характеристик вихревой трубы // Вихревой эффект и его применение в технике / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1984. С. 50-53.

УДК 533.697

Г.П.Токарев

ВЛИЯНИЕ ОСЕВЫХ СКОРОСТЕЙ НА ВЕЛИЧИНУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

(Самарский институт инженеров
железнодорожного транспорта)

Рассмотрены критические режимы вихревой трубы при изменении направления входа потока в камеру энергетического разделения. В работе экспериментально исследовалось влияние направления входа потока в камеру энергетического разделения вихревой трубы на величины эффектов охлаждения ΔT_x и температурного разделения ΔT_p .

На рис. I представлена схема экспериментальной установки. Давления и температуры измерялись в ресиверах на входе (P_i, T_i) и выходах ($P_x, T_x; P_r, T_r$) вихревой трубы, причем ресиверы охлажденного и нагретого газа имели дроссельные вентили для регулирования давлений P_x, P_r и изменения доли охлажденного воздуха μ .

Увеличение степени расширения π производилось открытием вентилей на ресивере охлажденного воздуха. Уменьшение давления P_x приводит к уменьшению давления P_r на докритических режимах, но не влияет на P_r на критических режимах течения через диафрагму вихревой трубы [I].

ISBN 5-230-16926-5

Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992