

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА

УДК 532.527

А.П. Меркулов

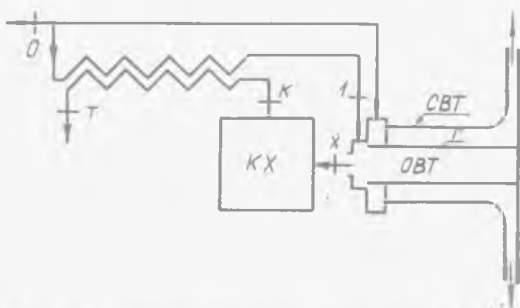
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СХЕМЫ
С САМОВАКУУМИРУЮЩЕЙСЯ И ОХЛАЖДАЕМОЙ
ВИХРЕВЫМИ ТРУБАМИ

Известные регенеративные схемы охлаждения с делшей вихревой трубой (ВТ) [1] позволяют получать эффекты охлаждения не превышающие максимальной разности температуры между горячим и холодным потоками ВТ. Это объясняется тем, что в регенерации холода участвует только холодный поток, охлаждающий весь подаваемый в ВТ сжатый газ. Кажется более перспективным применять в регенеративной схеме охлаждаемую ВТ, перерабатывающую в холодный поток весь подаваемый в нее газ и обеспечивающую равенство расходов в обоих контурах теплообменника, т.е. неограниченные пределы регенерации. Но эта возможность также ограничена тем, что при увеличении глубины регенерации в охлаждаемую ВТ поступает все более охлажденный газ, температура ее стенок снижается и прекращается теплообвод в окружающую среду.

Для обеспечения теплообвода от стенок предлагается поместить охлаждаемую ВТ в самовакуумирующуюся. В этом случае теоретически достижимый эффект охлаждения будет равен сумме эффекта подогрева стенок охлаждаемой ВТ и эффекта охлаждения, создаваемого в присоединенной зоне самовакуумирующейся ВТ.

Рассматриваемая схема с расчетными сечениями представлена на рис.1. Принцип ее функционирования следующий. Сжатый газ из внешней сети с параметрами сечения 0 подается в противоточный теплообменник, охлаждается в нем и с параметрами сечения I поступает в охлаждаемую ВТ (ОВТ).

После охлаждения за счет вихревого эффекта в ОВТ газ с параметрами сечения X подается в камеру холода (КХ), где отводит тепло от охлаждаемого объекта, а затем с параметрами сечения К поступает во второй контур теплообменника, подогревается в нем и с параметрами сечения Т выбрасывается в атмосферу.



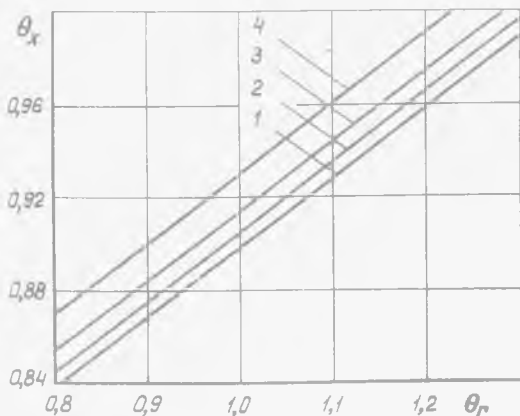
Р и с. 1. Схема регенеративной вихревой установки

ОБТ помещена в присоевную зону самовакuumирующей ВТ (СВТ), питаемой сжатым газом с параметрами сечения O . В присоевной зоне от стенок ОБТ отводится тепло при низком температурном потенциале.

Из диффузора СВТ газ выбрасывается в атмосферу.

Предлагаемая методика расчета основывается на эмпирических зависимостях - характеристиках ОБТ и СВТ:

$$\theta_x = f(\theta_r, \pi_1) \quad \text{и} \quad \theta_c = \theta(q, \pi_0), \quad (1)$$



Р и с. 2. Характеристика ОБТ: 1- $\pi_1=3$;
2- $\pi_1=4$; 3- $\pi_1=5$; 4- $\pi_1=6$

$$\begin{aligned} \text{где } \theta_x &= \frac{T_x}{T_1}; \theta_r = \frac{T_c}{T_1}; \theta_c = \frac{T_c}{T_0}, \\ \pi_1 &= \frac{P_1}{P_x}, \quad \pi_0 = \frac{P_0}{P_n} \quad (2) \end{aligned}$$

q - удельный тепловой поток от стенки ОБТ, кВт/м²;

T_c - температура стенки ОБТ;

P_n - давление в окружающей среде.

Изображенная на рис. 2 зависимость для θ_x может быть представлена в виде эмпирического выражения

$\theta_c = 0,3175\theta_r + \frac{0,6546}{\pi_1^{0,0627}}$
 Значение θ_c по заданным q и T_0 определяется из графика (рис. 3).

(2)

При равенстве водяных эквивалентов потоков в контурах теплообменника его уравнение теплового баланса запишется:

$$T_0 - T_1 = T_r - T_k \quad (3)$$

Обозначим

$$\Delta T_k = T_k - T_x; \Delta T_r = T_0 - T_r,$$

$$\Delta T = \Delta T_k + \Delta T_r$$

и уравнение (3) перепишем в виде

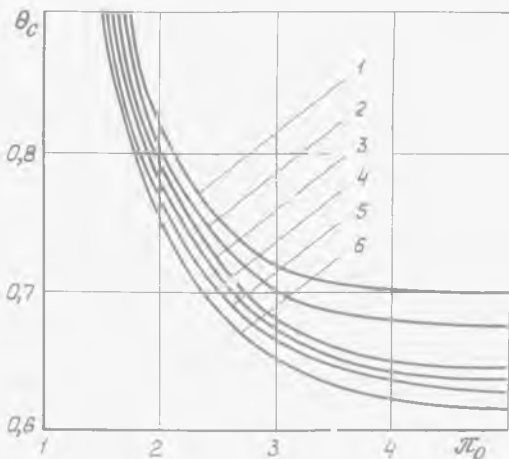
$$\theta_x = \frac{T_x}{T_x + \Delta T} \quad (4)$$

Приравняв правые части выражений (2) и (4) и проведя замену

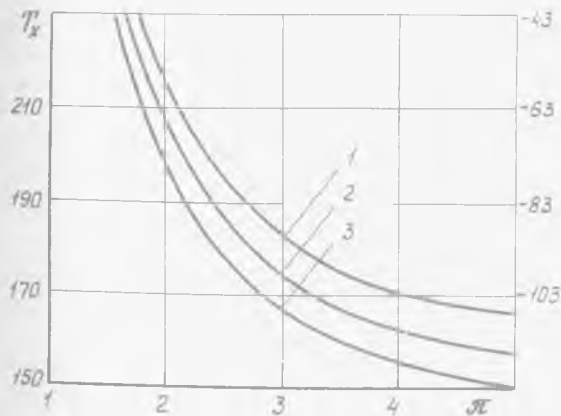
$$\theta_r = \frac{T_c}{T_1} = \frac{T_c}{T_x + \Delta T} = \frac{\theta_c T_0}{T_x + \Delta T}$$

можно получить расчетное выражение

$$T_x = \frac{0,3175 T_0 \theta_c \pi_1^{0,0627} + 0,6546 \Delta T}{\pi_1^{0,0627} - 0,6546}$$



Р и с. 3. Характеристики СВТ: 1- $q=20$; 2- $q=15$; 3- $q=8$; 4- $q=6,5$; 5- $q=3,25$; 6- $q=1,3$



Р и с. 4. Характеристики регенеративной схемы при различной тепловой нагрузке, $\Delta T, K$: 1- $\Delta T=10$; 2- $\Delta T=5$; 3- $\Delta T=0$

Минимальная достижимая температура для рассматриваемой схемы определится условием $\Delta T = 0$.

В этом случае для $\pi = 4$; $q = 8 \text{ кВт/м}^2$; $T_0 = 360 \text{ К}$ получим $\theta_c = 0,65$ и $(T_x)_{min} = 155 \text{ К} = -118^\circ\text{С}$.

На рис. 4 приведены значения температуры холодного потока в зависимости от располагаемой степени расширения и тепловой нагрузки. Кривые показывают, что при умеренных располагаемых степенях расширения в рассмотренной схеме можно получить значительные эффекты охлаждения, превышающие возможности регенеративных схем с делящей вихревой трубой.

Л и т е р а т у р а

И. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 183 с.

УДК 533.697.3

А.Н. Ш т ы м

О ПРАВОМЕРНОСТИ НЕКОТОРЫХ ДОПУЩЕНИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА

В подавляющем большинстве работ по вихревому эффекту соотношения между параметрами потоков находятся в предположении об изоэнтропичности и внутренней адиабатности вращающегося потока газа.

Такой подход позволяет использовать конкретные термодинамические зависимости, которые затем правятся эмпирическими коэффициентами, и поскольку отклонения расчетных интегральных величин от опытных оказываются незначительными, то делается вывод о правомерности принятых допущений и справедливости предлагаемой модели эффекта. При этом, как правило, не делается сопоставление расчетных параметров с действительными в объеме ВТ и численная оценка достоверности исходных допущений.

Между тем, располагая данными по давлениям и температурам на входе и выходе из ВТ, можно установить величину возрастания энтропии вследствие необратимости процесса вихревого энергоразделения:

$$\Delta S^* = \mu \Delta S_x + (1 - \mu) \Delta S_r,$$

где $\Delta S_x = S_v \frac{n_x - k}{n_x - 1} \ln \frac{T_x^*}{T_1^*}$ и $\Delta S_r = S_v \frac{n_r - k}{n_r - 1} \ln \frac{T_r^*}{T_1^*}$ соответственно, величины изменения удельной энтропии охлажденной и подогретой частей потока.

На рис. 1 приведены безразмерные величины $\Delta \bar{S}^* = \frac{\Delta S^*}{C_v}$ в зависимости от μ при различной степени расширения холодного потока $\bar{\pi} = P/P_x$.