

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

Различные авторы на базе экспериментальных данных рекомендуют оптимальную длину ВТ в пределах 3-50 L_T [1, 2, 3, 4]. Теоретическое обоснование оптимальной длины ВТ является основной задачей данной работы.

По мере движения периферийного потока газа от входного тангенциального сопла к дроссельному крану происходит падение полного давления из-за гидравлических потерь:

$$dp_0 = -\xi \frac{\rho V^2}{2d_T} dz, \quad (I)$$

где dp_0 - изменение полного давления периферийного потока газа вдоль оси ВТ (н/м^2); ξ - коэффициент сопротивления трения; ρ - плотность газа (кг/м^3); V - скорость (м/с); d_T - эквивалентный диаметр периферийного потока (м); dz - расстояние от входного тангенциального сопла до рассматриваемого сечения вдоль оси ВТ (м).

Площадь живого сечения потока по мере удаления от входного сопла увеличивается из-за уменьшения плотности газа.

Осевой поток газа формируется перед дроссельным краном в результате перехода части периферийного потока на меньший радиус и поворота его в противоположном направлении. Осевая скорость осевых слоев газа при перемене знака части периферийного потока изменяется от нуля до максимума в сопловом сечении за счет расширения.

К периферийному потоку газа энергия подводится при его движении от входного тангенциального сопла до дроссельного крана силами вязкости от осевого потока. На выходе из дроссельного крана энергия будет наибольшей, поэтому полная температура периферийных слоев газа в этом сечении максимальна.

Так как осевой поток газа формируется перед дроссельным краном из части периферийного потока, то его полная температура перед дроссельным краном равна температуре периферийного потока.

Осевой поток газа совершает работу над периферийным при своем движении от дроссельного крана до диафрагмы. Величина этой работы может быть определена по формуле Дарси-Вейсбаха

$$L_{TP} = \frac{1}{2gd} \int_0^{l_T} \frac{V^2}{\xi} dz, \quad (2)$$

где V - абсолютная скорость движения осевого потока газа (м/с);
 d - эквивалентный диаметр осевого потока газа (м); l_T - длина ВТ.

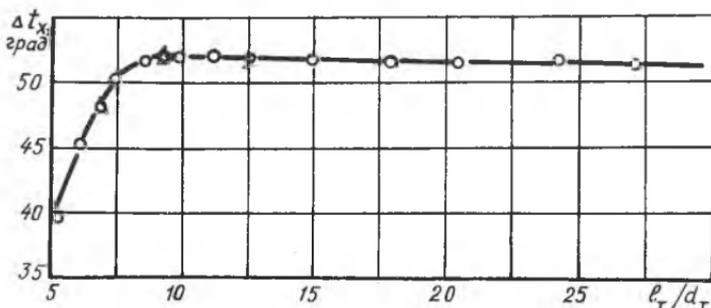
Осевой поток газа при подходе к диафрагме передает всю свою избыточную энергию периферийному потоку, в результате чего в сопловом сечении его полная температура будет минимальной. Количество энергии, передаваемой от осевого потока к периферийному, зависит от перепада полных давлений перед дроссельным краном и на выходе из диафрагмы [I]:

$$L_{TP} = -\frac{\kappa}{\kappa-1} RT_{or} \left[\left(\frac{\rho_{ox}}{\rho_{or}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right], \quad (3)$$

где κ - показатель адиабаты; R - газовая постоянная; T_{or} - полная температура газа перед дроссельным краном (°K); ρ_{ox} - полное давление газа перед диафрагмой (н/м²); ρ_{or} - полное давление газа перед дроссельным краном.

Поскольку левые части уравнений (2) и (3) равны между собой, должны быть равны и правые части. Отсюда находится длина ВТ. Зная длину ВТ, можно определить потери полного давления периферийного потока по формуле (I). После этого производится уточнение длины ВТ. Таким образом, методом итераций находится оптимальная длина ВТ.

Длина ВТ, с одной стороны, должна быть минимальной для уменьшения гидравлического сопротивления и повышения полного давления перед дроссельным краном, с другой стороны, она должна быть достаточной для передачи всей избыточной энергии от осевых слоев газа к периферийным.



Р и с. I. Влияние длины ВТ на ее температурную эффективность

Если длина трубы будет меньше оптимальной, то процесс энергетического разделения не сможет завершиться (рис. 1) и эффективность ВТ будет снижена. Если длина трубы будет больше оптимальной, то гидравлические потери будут расти, а эффективность понижаться. Однако экспериментальные данные показывают (рис. 1), что значительное увеличение длины ВТ по сравнению с оптимальной приводит к незначительному уменьшению ее температурной эффективности.

Подобное явление объясняется тем, что из-за гидравлического сопротивления периферийный поток при движении от входного сопла к дроссельному крану расширяется и занимает все большую площадь сечения вихревой трубы. На некоторой длине трубы (l'_T) наступает такой момент, когда периферийный поток будет занимать всю площадь сечения ВТ (рис. 2). Противоточный осевой поток находится только в зоне ВТ на длине l'_T . Энергообмен между осевым и периферийным потоками будет происходить в пределах

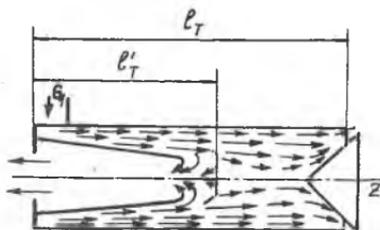
$$l_T = 0 \dots l'_T.$$

В сечениях ВТ, отстоящих от входного сопла на расстоянии $l > l'_T$, будет находиться только периферийный поток, движущийся к дроссельному крану. Движения газа от дроссельного крана к диафрагме в этой зоне нет. Энергообмена в этой зоне также нет, и поэтому данная зона не оказывает существенного влияния на эффективность ВТ.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что каждой величине полного давления газа на входе в ВТ соответствует вполне определенная оптимальная длина. С ростом полного давления газа на входе в ВТ будет расти и оптимальная длина, так как будет возрастать количество энергии, которое необходимо передать от осевых слоев газа к периферийным [5].

Л и т е р а т у р а

Г. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. — М.: Машиностроение, 1969.



Р и с. 2. Схема движения периферийного потока газа в ВТ

2. М е т е н и н В.И. Экспериментальное исследование рабочего процесса воздушной вихревой холодильной установки. - Холодильная техника, 1959, № 4.
3. М е т е н и н В.И. Исследование противоточных вихревых труб. - ИФЖ, т. 7, 1964, № 12.
4. *Fulton C.D., Ranques Tube, Refrigerating Engineering, May, 1950.*
5. Д ы с к и н Л.М., К р а м а р е н к о П.Г. О зависимости температурной характеристики от длины вихревой трубы. - В сб.: Вихревой эффект и его применение в технике. - Куйбышев: КуАИ, 1976.

УДК 533.6.011.3

Р.Х.Мухутдинов

ЕЩЕ РАЗ О СУЩНОСТИ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА

В настоящее время по вихревому эффекту накоплен обширный экспериментальный материал. Однако целый ряд экспериментальных фактов, а также положений различных гипотез противоречивы и пока не объясняются с единых позиций.

В основе современного толкования механизма вихревого эффекта лежат высокоскоростное закручивание и взаимодействие образующихся свободного и вынужденного вихрей с энергообменом за счет турбулентного переноса [1]. Доказательством возникновения вихревого эффекта считается образование горячего и холодного потоков при раскручивании периферийным потоком вводимого газа со стороны дросселя через центр. Однако данный эксперимент, являясь доказательством возникновения энергообмена между самостоятельными потоками, еще не подтверждает возникающее температурное разделение при образовании вторичного внутреннего потока из исходного внешнего. Рассмотрение рядом авторов сущности температурного разделения газа в ВТ в последовательности происходящих стадий, анализ каждого из потоков, и, в то же время, их взаимодействия изолированно от общего процесса, приводит, на наш взгляд, к недостаточно убедительным обобщениям с точки зрения таких категорий, как причина и следствие.