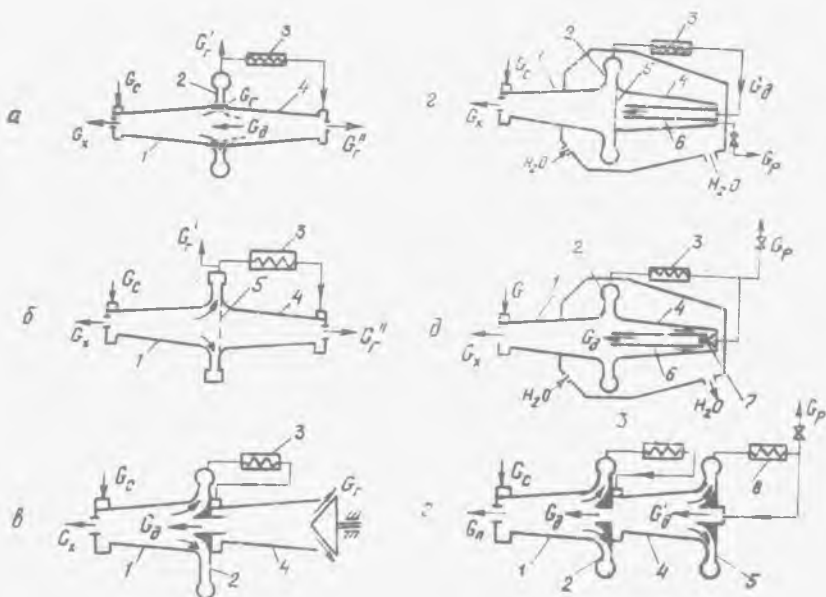


УДК 621.532

А.Д.Суслов, А.В.Мурашкин

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИХРЕВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА  
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ПОТОКА

Работы по повышению эффективности вихревых воздухоохладителей проводятся в МВТУ им. Н.Э.Баумана с 1971 года. Они заключаются в рациональном использовании энергии горячего потока. Всего было создано шесть типов охладителей, различающихся схемой циркуляции и полнотой



Р и с. 1. Схемы вихревых холодильников МВТУ

использования энергии потока. На рис. I приведено пять типов, которые достаточно полно характеризуют возможности рассматриваемого пути повышения эффективности.

В вихревом воздухоохладителе, схема которого представлена на рис. I, а, сжатый воздух поступает в сопло основной ВТ 1. Горячий поток повышает свое давление в диффузоре 2. Часть потока или весь поток направляется в холодильник 3. Вторая часть выбрасывается в атмосферу. Охлажденный воздух поступает в сопло дополнительной трубы 4, установленной на торцовой стенке камеры разделения основной трубы. Т.е. рассматриваемый охладитель содержит две ВТ, соединенные горячими концами. Основная труба противоточная, вспомогательная — прямоточная. Вспомогательную трубу также можно перевести в противоточный режим работы, если снабдить ее диафрагмой и отводить холодный поток к потребителю, работающему при промежуточном значении температуры охлаждения.

Повышение эффективности схемы достигнуто:

а) за счет охлаждения циркулирующего потока в обособленном теплообменнике, т.е. сняты ограничения по величине теплопередающей поверхности;

б) за счет повышения давления в диффузоре и срабатывания перепада давлений в дополнительной вихревой трубе.

При испытании зафиксирован к.п.д. в 1,2 раза превышающий к.п.д. обычных ВТ. Следует заметить, что охладители, выполненные по схемам а, б, в, не имели рубашек для охлаждения стенок камер разделения ВТ. Интенсификация охлаждения стенок камер рассматривалась как резерв для дальнейшего повышения к.п.д. В образцах, выполненных по схеме на рис. I, а и у которых дополнительная труба имела размеры, одинаковые с размерами основной трубы, работоспособность сохранялась в узком диапазоне изменения параметров воздуха на входе в сопловые аппараты. За пределами этого диапазона дополнительная труба работала как своеобразный развихритель вихревого потока из основной трубы. Температура холодного потока дополнительной трубы повышалась до  $T'_x > T_0$ . При закрытом холодном конце, когда дополнительная ВТ должна работать в режиме противотока, за пределами этого диапазона наблюдалось снижение к.п.д. При уменьшении доли холодного потока основной трубы до  $\mu = 0,3-0,4$  величина к.п.д. уменьшалась до значений, получаемых на обычных конструкциях ВТ.

Второй тип охладителей изготовлен по схеме, представленной на рис. I, б. Охладители этого типа отличались от охладителей первого типа наличием сеток-развихрителей 5, установленных на границе ВТ. Трубы обмениваются заторможенными потоками воздуха. Благодаря этому расширен диапазон изменения параметров, в котором соблюдаются нормальные режимы

работы дополнительной ВТ. Второй причиной повышения эффективности следует считать интенсификацию энергообмена между присосевым и периферийными потоками в основной ВТ. Испытания охладителей второго типа проводились только с целью подтверждения того факта, что установка сетки-развихрителя всегда приводит к повышению к.п.д. Одновременно результаты экспериментов явились одним из наиболее убедительных подтверждений справедливости гипотезы взаимодействия вихрей.

Схема охладителей третьего типа показана на рис. 1, в. Они отличаются тем, что дополнительная ВТ подсоединена к основной своим холодным концом. Такое построение схемы обеспечило стабильную работу дополнительной трубы, позволило улучшить условия входа горячего потока основной трубы в диффузор. Благодаря этому удалось повысить к.п.д. в 1,34 раза в сравнении с охладителями первого типа. Максимальные значения к.п.д. получены при доле холодного потока  $M = 0,75$ . Было проведено испытание охладителя с выключенным из работы холодильником 3. Т.е. снижение температуры газа после диффузора возникало только за счет конвективного теплообмена соединительных трубок с окружающим воздухом. При этом температура горячего потока на выходе из дополнительной ВТ всегда была выше температуры его в трубах обычной конструкции. Следовательно, такой тип охладителя рационально использовать и в тех случаях, когда исключена возможность охлаждения циркулирующего потока воздуха и стенок камер разделения.

Четвертый тип охладителей имеет принципиальное отличие от рассмотренных выше (рис. 1, г). Циркулирующий поток после холодильника подводится в трубку 6, торец которой расположен на расстоянии 1-2 мм от сетки-развихрителя 5. В некоторых образцах конец трубки выполнялся в виде конуса, обращенного своим основанием к сетке. В охладителях такого типа использовался перепад давления между диффузором и присосевым потоком камеры разделения только на преодоление гидравлических сопротивлений холодильника и подсоединительных трубок. Область наиболее высоких к.п.д.  $\eta = 0,34-0,35$  зафиксирована в диапазоне изменения доли холодного потока  $0,82 < M < 0,90$ . Как и в охладителях рассмотренных выше типов, в опытных образцах не использованы все возможности для повышения к.п.д. В программу испытаний не входило определение оптимальных размеров сетки и величины расхода в циркуляционной ветке. Давление за диффузором регулировалось при помощи вентиля на трубопроводе для выпуска части горячего потока. В принципе охладители такого типа можно создавать и на меньшие значения  $M$ , сокращая диаметр сетки-развихрителя. Во всем возможном диапазоне  $M$  к.п.д. охладителя будет выше, чем у ВТ В.И.Метенина, так как в присосевой поток камеры разделения подводится предварительно охлажденный воздух.

Отличительными чертами охладителей пятого типа (рис. 1, д) является то, что они не имеют сеток-развихрителей, а снабжены эжектором 7, отсасывающим заторможенный поток из конфузора. В данном случае конфузор выполняет роль развихрителя для воздуха, не попавшего в диффузор. Одновременно он используется для отвода тепла к охлаждающей среде. При испытании охладитель вместе со змеевиковым теплообменником был погружен в сосуд с проточной водой. Получен максимальный к.п.д.  $\zeta = 0,42$ , что в 1,55 раза больше полученного у охлаждаемых ВТ. Резервы для увеличения к.п.д. заключены прежде всего в повышении эффективности работы эжектора. В экспериментальных образцах была использована примитивная конструкция эжектора. Повышение кратности эжекции интенсифицирует работу конфузора как развихрителя и одновременно увеличивает поток тепла от воздуха к охлаждающей среде через стенки конфузора. Вторым резервом для повышения к.п.д. является создание благоприятных условий входа горячего потока в диффузор. Такое мероприятие позволит увеличить перепад давлений, срабатываемый в эжекторе.

Наиболее полное использование энергии горячего потока достигнуто в схеме, изображенной на рис. 1, е. В отличие от схемы на рис. 1, в здесь горячий поток после второй ВТ частично или полностью охлаждается в теплообменнике и возвращается в камеру разделения. Поиск рациональных вариантов узлов является одной из основных задач исследований.

Как уже отмечалось выше, характеристики рассматриваемых вихревых холодильников не являются предельными.

Первый путь повышения к.п.д. направлен на поиск мероприятий, обеспечивающих оптимальное соотношение давления и расхода в циркуляционном потоке.

Второй путь повышения эффективности заключается в повышении эффективности процесса энергетического разделения непосредственно в камерах разделения. Реализация второго направления связана с установкой различного рода развихрителей, интенсифицирующих обмен энергией присосенного и периферийного вихревых потоков.

УДК 621.574

В.Н.М и х у ш к и н

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВИХРЕВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

Целью настоящей работы является повышение эффективности вихревых холодильников (ВХ) за счет использования энергии горячего потока. Для решения данной задачи была предложена конструкция [1] и изготовлен двухступенчатый ВХ, схема которого представлена на рис. 1.

Двухступенчатый ВХ работает следующим образом: воздух от компрес-