

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ ПРИ ПОСТОЯННОМ РАСХОДЕ ОХЛАЖДЕННОГО ПОТОКА

© 2009 Н.В. Савченко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 16.11.2009 г.

В статье рассматривается способ регулирования температурной эффективности вихревой трубы изменением площади входного сопла улитки с одновременным изменением доли холодного потока при сохранении его постоянного весового расхода. Обосновывается предпочтительность этого способа регулирования в вихревых индивидуальных кондиционерах.

Ключевые слова: *вихревая труба, регулирование, постоянный расход, кондиционируемая одежда*

В системах индивидуального кондиционирования рабочей средой в большинстве случаев является воздух, протекающий между поверхностью тела человека и изолирующей оболочкой. Воздух обеспечивает теплообмен, забирая метаболическое тепло и тепло, поступающее через оболочку из окружающей среды, и выводит его наружу. Интенсивность теплообмена на поверхности объекта регламентируется его особенностями, она не должна превышать определенной величины, чтобы не привести к местному переохлаждению. Интенсивность теплообмена во многом определяется коэффициентом теплоотдачи, зависящем, в свою очередь, от местной скорости движения кондиционирующей среды, т.е., в конечном итоге, от массового расхода воздуха. Используя вихревую трубу в качестве источника кондиционирующего воздуха, необходимо регулировать перепад между температурой входящего в кондиционер сжатого воздуха, зависящей от условий внешней среды, и температурой кондиционирующего воздуха. При этом температура кондиционирующего воздуха должна оставаться постоянной, как и его расход, т.е. необходимо обеспечить условие регулирования температурной эффективности

$$\Delta t = t_{cm} - t_x = \text{var при } t_x = \text{const}, G_x = \text{const}$$

Изменение температурной эффективности в вихревой трубе достигается изменением давления перед входом в сопло сопловой

лодного потока $\mu = G_x / G_{cm}$. В обоих случаях регулирование приводит к изменению расхода охлажденного воздуха. Необходимый в нашем случае закон регулирования $G_x = \text{const}$ может быть достигнут одновременным изменением давления входящего сжатого воздуха и доли холодного потока [2]. Конструктивно оба органа управления должны быть связаны законом $\mu = f(P)$, а управление сведено к одному органу управления. Расходные параметры вихревой трубы, связанные между собой системой уравнений, которые при $k=1,4$, $R=287$ Дж/кг.град (рабочее тело – воздух), принимают вид: $G = \frac{0,38PF}{\sqrt{T}}$ – расход воздуха через вихревую трубу, где F – площадь сопла улитки, мм². $G_2 = \frac{0,38P_2F}{\sqrt{T_2}}$ – расход горячей составляющей воздуха, где F_2 – площадь сечения отверстия для истечения горячей составляющей воздуха, мм², $\pi_2 = P_2/P_{окр} = 0,33\pi + 0,67P_x$; – степень расширения горячего потока, $\pi = P/P_x$ – степень расширения сжатого воздуха в вихревой трубе, $G_x = G - G_2$ – расход холодного воздуха.

Если для упрощения анализа принять условно, что потребитель холодного воздуха не имеет гидравлического сопротивления, то при $P_x = P_{окр} = 1$ в конечном итоге расход холодного воздуха [2] имеет вид:

$$G_x = 0,38 \left[\frac{PF}{\sqrt{T}} - \frac{(0,33P + 0,67P_x)F_2}{\sqrt{T_2}} \right]$$

С учетом, что влияние температур сжатого воздуха T и его горячей составляющей T_2 при возможном диапазоне их изменения не превышает 3%, обеспечение закона регу-

Савченко Нелли Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент

аппарат или изменением массовой доли хо-

лирования $G_x = const$ возможно свести к изменению $F_r = f(P)$. Конструктивно такой закон регулирования реализован в конди-

ционерах, выполненным по схемам, приведенным на рис. 1.

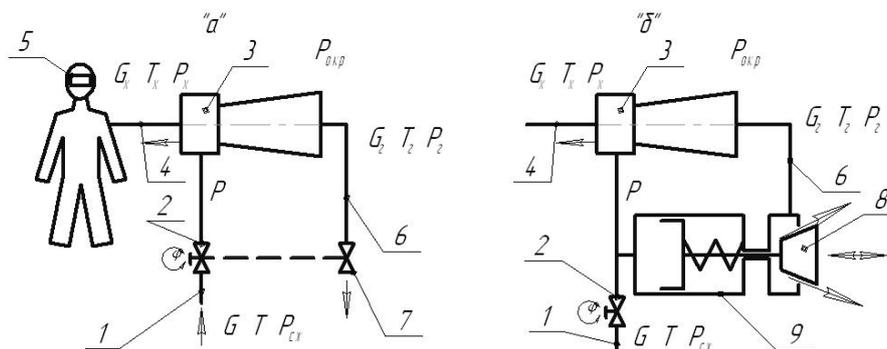


Рис. 1. Вихревой кондиционер с жесткой схемой регулирования расхода холодного воздуха (а), с корректируемой схемой расхода холодного воздуха (б)

В схемах «а» и «б» сжатый воздух из подводящей магистрали 1 поступает в регулирующий вентиль 2 и далее с давлением, установленным оператором, поступает в вихревую трубу 3. Из вихревой трубы охлажденный (холодный воздух) по каналу 4 подается в кондиционируемую одежду 5. Горячая составляющая воздуха по каналу 6 поступает в регулирующее устройство. В схеме «а» положение регулирующего устройства 7 жестко связано с положением регулирующего вентиля, т.е. площадь сечения отверстия для выпуска горячего воздуха зависит от положения рукоятки вентиля 2. По такой схеме закон регулирования $G_x = const$ возможно осуществлять только в условиях обеспечения постоянного давления сжатого воздуха в подводящей магистрали. Здесь при изменении давления наступает зависимость $G_x = f(P)$. Схема «б» позволяет обеспечить закон регулирования $G_x = const$ при переменном давлении сжато воздуха. Положение профилированного золотника регулирующего устройства 8 устанавливается в зависимости от давления на вихревую трубу пневмоприводом 9. Алгоритм изменения параметров вихревого кондиционера, построенного по схеме «б», приведен на рис. 2. Однако такое регулирование вихревой трубы, при обеспечении постоянного расхода охлажденного воздуха, сводится, по сути, к ухудшению холодопроизводительности от достижимой при располагаемых параметрах на входе.

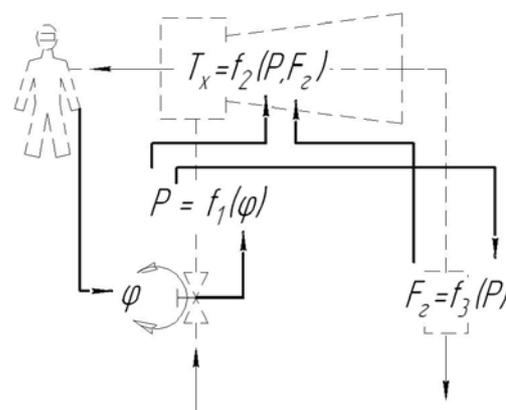


Рис. 2. Алгоритм регулирования параметров вихревой трубы при осуществлении закона $G_x = const$

Сущностью теплорегулирования является снижение располагаемой степени расширения сжатого воздуха путем его дросселирования перед подачей в сопло вихревой трубы. При дефиците сжатого воздуха, а он обычно присутствует при массовом использовании индивидуального кондиционирования в условиях уже существующего производства, способ регулирования дросселированием не является лучшим.

В исследованиях А.П. Меркулова [1], Н.Д. Колышева, В.Е. Вилякина определена величина относительной площади сопла вихревой трубы, при которой температурная эффективность максимальна. Вместе с тем, следует отметить не очень сильное влияние этого параметра на температурную эффективность для достаточно широкого диапазона изменения расхода сжатого воздуха им же и определенного. В любом случае регулировать температурную эффективность изменением относительной площади сопла

вихревой трубы менее затратно, чем просто сбрасывать (дросселировать) давление до сопла. В исследованиях, проведенных В.Е. Вилякиным, использовались регулируемые сопловые аппараты, но они требовали прецизионного изготовления и, как минимум, были трехсопловыми. Кроме того, для вихревой трубы диаметром менее 16 мм их создание проблематично по конструктивным соображениям. Сами по себе дозвуковые сопла имеют незначительные потери, мало зависящие от точности соблюдения геометрии при изготовлении, но применительно к вихревым трубам поступление воздуха через зазоры, обусловленные конструкцией

регулируемого сопла, сильно ухудшают температурную эффективность. Просачивающийся воздух подмешивается в пограничный слой диафрагмы и поступает непосредственно в холодный поток. Исходя из этих двух особенностей, мы пришли к выводу о возможности и целесообразности использования сопла изменяемого сечения, регулируемого перемещением центрального тела. На рис. 3 приведена схема конструкции вихревой трубы с соплом изменяемого сечения и системой регулирования, обеспечивающей постоянный расход охлажденного воздуха.

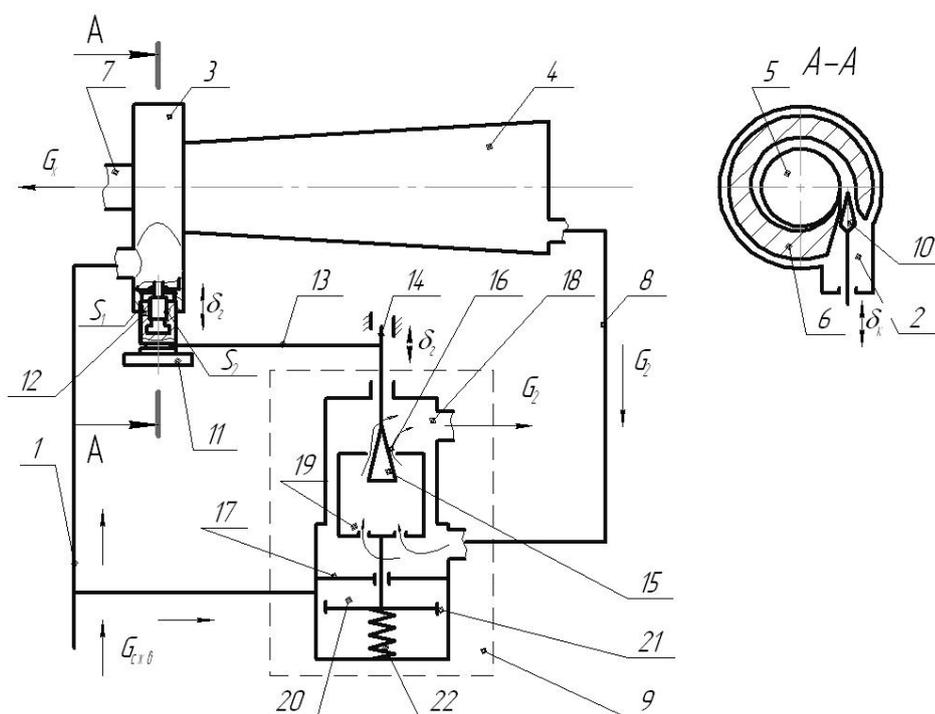


Рис. 3. Схема конструкции вихревой трубы с соплом изменяемого сечения и системой регулирования

Сжатый воздух по трубопроводу 1 поступает в расходную камеру 2 корпуса 3 вихревой трубы и из расходной камеры сжатый воздух через тангенциальное расположенное сопло прямоугольного сечения 5 улитки 6 поступает в вихревую трубу и создает закрученный поток. В результате энергоразделения образуется охлажденная часть воздуха с расходом G_x , которая по каналу 7 подводится к потребителю. Горячая составляющая воздуха с расходом G_2 по каналу 8 поступает в автомат 9 регулирования доли холодного потока μ . Количество сжатого воздуха, поступающее в вихревую трубу через улитку устанавливается (регулируется) перемещаемым клапаном, изменяющие ее

сечение. Перемещение клапана производится поворотом рукоятки 11, вращающей ходовую гайку с внутренней и наружной резьбой, имеющей разный шаг. Такая схема позволяет осуществлять перемещение гайки 12 и клапана 10 в соотношении $\delta_2/\delta_k = S_1/(S_1 - S_2)$, где δ_2 , δ_k – перемещение гайки и клапана соответственно, S_1 , S_2 – шаг наружной и внутренней резьбы гайки соответственно. Варьируя при конструировании величинами шага наружной и внутренней резьбы, получаем возможность прецизионного пропорционального перемещения клапана при значительном угловом перемещении рукоятки управления.

Через поводок 13 перемещение, пропорциональное перемещению клапана, передается штоку 14 с профилированным клапаном 15, регулирующим проходное сечение сопла 16, находящегося между камерой 17 горячего потока и каналом 18, отводящим горячий воздух в окружающую среду. Сопло 16 перемещается относительно корпуса камеры 17 и его положение определяется давлением сжатого воздуха в камере управления 20, перемещающим поршень 21. Величина перемещения поршня определяется давлением сжатого воздуха и затяжкой (настройкой) пружины 22.

Система регулирования работает следующим образом: вращением рукоятки 11 устанавливается необходимая температура на входе в кондиционируемую одежду (на выходе из кондиционера), при этом клапан, связанный с рукояткой занимает некоторое положение относительно сопла 5 улитки вихревой трубы, и определяет расход сжатого воздуха, поступающего в нее. В свою очередь, профилированный клапан 15, жестко связанный с клапаном сопла улитки, устанавливает проходное сечение сопла 16, пропускающего из вихревой трубы горячую составляющую воздуха. Профиль клапана 15 подобран из условия выполнения закона $G_x = const$. Такое регулирование является однозначным при условии постоянного давления сжатого воздуха. При изменении давления

в ту или иную сторону, эффективность энергоразделения меняется и для осуществления условия постоянства расхода холодной составляющей необходима перестройка соотношения доли холодной составляющей воздуха. Независимо от положения профилирующего клапана 15 сопло 16 перемещается относительно него и занимает положение, соответствующее давлению сжатого воздуха в камере 20, связанной с трубопроводом 1. Изменение сечения сопла 16 определяет иной расход горячей составляющей воздуха, т.е. изменяет доля холодного потока μ .

Испытания вихревой трубы с системой регулирования подтвердили устойчивую работу и обеспечение постоянного расхода охлажденного воздуха с температурой $t_x = +25^\circ\text{C}$ при изменении величины давления сжатого воздуха на входе в пределах 3,5-6,0 кг/см² и температуры в пределах $+40-80^\circ\text{C}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Меркулов, А.П. Вихревой эффект и его применение. Самара: Оптима, 1997. – 346 с.
2. Савченко, Н.В. Регулирование вихревой трубы в системах термостатирования и кондиционирования // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Вестник СГАУ – Самара. – 1999. – Вып. №3. – С. 229-231.

REGULATION OF VORTEX PIPE WITH CONSTANT COOLED FLOW RATE

© 2009 N.V. Savchenko

Samara State Aerospace University

In article the control mode of temperature efficiency of a vortex pipe by change of a scroll suction nozzle square with simultaneous change of a cold flow share at conservation of its constant weight rate is observed. Preferability of this control mode proves in whirlwind individual air conditioners.

Key words: *vortex pipe, regulating, constant flow rate, conditioned clothes*