

# Процессы тепло- и массопереноса в вихревых устройствах для кондиционирования и увлажнения воздуха

Канд. техн. наук А. В. ТАРНОПОЛЬСКИЙ  
Пензенский государственный университет

---

*In vortical streams of gases and biphas liquids-gas environments there are high-intensity processes of carry of heat and weights that allows to use vortical devices for an air conditioning. It is established, that in a basis of model of power division of gases at vortical current turbulence lays. In an axial zone of the vortical chamber of a spray vortical streams of air create the underpressure providing submission of a liquid and formation of a dispersion. The principle of work of vortical climatic system is based on joint realization of processes of cooling of air in a vortical pipe, and also as a result of formation of a dispersion and evaporation of the liquid sprayed by a vortical spray.*

---

Вихревые процессы в газовых и двухфазных жидкостно-газовых средах характеризуются значительными перепадами температур и давлений, что приводит к высокоинтенсивным процессам тепло- и массопереноса, которые находят применение для кондиционирования воздуха. Вихревые потоки воздуха создаются в вихревых трубах, работа которых основана на использовании эффекта Ж. Ранка. Сущность эффекта Ранка заключается в том, что сжатый воздух с давлением 0,2...0,6 МПа с большой скоростью подается через специальное сопло в цилиндрическую вихревую камеру тангенциально к ее внутренней поверхности. При этом в вихревой камере образуются два вихревых потока. В результате сложного энергетического взаимодействия между по-

токами происходит их температурное разделение, при котором один из потоков – периферийный – нагревается, а второй – центральный – охлаждается до 30 °С относительно температуры подаваемого сжатого воздуха. Холодный и горячий потоки выводятся из торцов трубы через диафрагму и дроссель соответственно [1]. Термодинамическая эффективность процесса энерго-разделения в вихревых трубах определяется степенью расширения в ней

$$\pi = p_1/p_{\text{ат}},$$

где  $p_1$  – давление сжатого газа на входе в сопло;

$p_{\text{ат}}$  – давление среды, в которую происходит истечение.

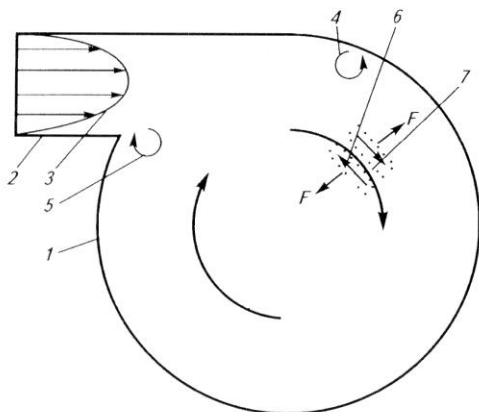


Рис. 1. Формирование турбулентных элементов на входе вихревой трубы:

1 – стенка трубы; 2 – тангенциальное входное сопло; 3 – профиль скорости газа на входе в вихревую трубу; 4, 5 – микровихри; 6, 7 – элементы вихревого потока с отрицательной и положительной пульсацией скорости; F – результирующая сила

Эффект энергоразделения заметно проявляется лишь при использовании в качестве рабочего тела сжимаемой среды (газа) [1, 2].

В основе модели энергетического разделения газов при вихревом течении лежит турбулентность. Благодаря трению потока газа о стенки соплового ввода и

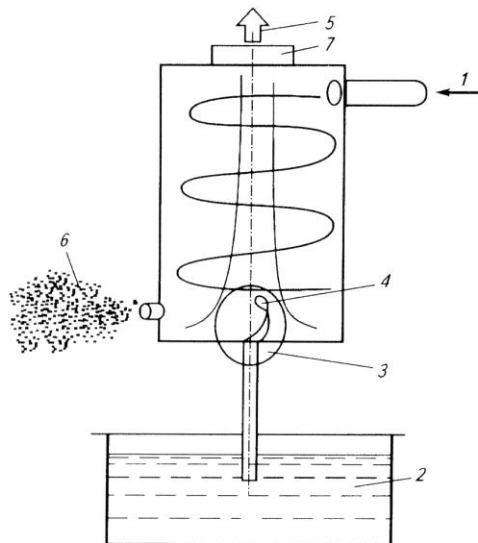


Рис. 2. Схема вихревого диспергатора-распылителя: 1 – тангенциальный ввод сжатого воздуха; 2 – емкость с жидкостью; 3 – осевая область распылителя; 4 – зона диспергирования; 5 – поток выходящего воздуха; 6 – факел воздушно-жидкостного аэрозоля; 7 – верхнее отверстие

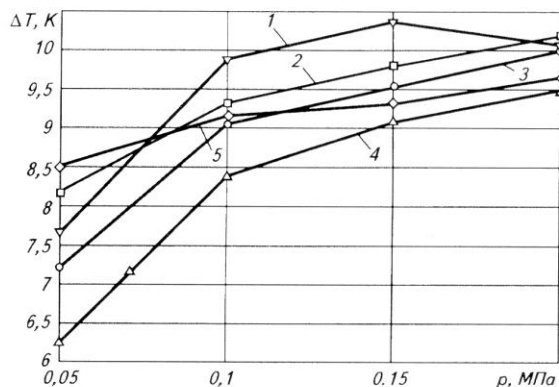


Рис. 3. Зависимость снижения температуры выходящего из распылителя воздуха от давления воздуха на входе вихревой камеры. Отношение диаметров диафрагм воды и воздуха:

1 – 3/21; 2 – 3/23; 3 – 5/21; 4 – 5/23; 5 – 6,5/23

резкому изменению сечения канала на выходе из тангенциального сопла создается турбулентность вихревого потока (рис. 1).

Из-за различия скоростей элементарных частиц турбулентного потока возникают положительные и отрицательные пульсации скорости, приводящие к разделению частиц: обладающие более высокой скоростью и энергией элементарные частицы газа смещаются к периферии (к стенке) вихревой камеры, а частицы с малой скоростью – в осевую зону. В периферийном вихревом потоке будут концентрироваться элементы газа с более высокими тангенциальной скоростью и кинетической энергией, что приведет к нагреву периферийного потока. В осевом потоке окажутся частицы газа с низкой кинетической энергией, и его температура будет снижаться. При этом в осевой зоне вихревой камеры будет снижаться статическое давление, что приведет к еще более интенсивному охлаждению осевого потока. Охлажденный воздух может направляться непосредственно в кондиционируемое помещение.

Характеристиками вихревой трубы являются разность температур  $\Delta T = T_0 - T_c$  входящего  $T_0$  и холодного  $T_c$  потоков и относительный массовый расход холодного газа  $\mu = G_c/G_0$ , где  $G_c$  и  $G_0$  – массовый расход охлажденного и исходного газа. Удельная массовая холодопроизводительность характеризует мощность трубы как охлаждающего устройства:

$$q_c = \mu \Delta T_c c_p,$$

где  $c_p$  — теплоемкость газа при постоянном давлении.

Вихревой диспергатор-распылитель [3] подает поток сжатого воздуха через сопло, тангенциально расположенное относительно внутренней цилиндрической поверхности вихревой камеры. Принцип работы вихревого диспергатора-распылителя представлен на рис. 2. При подаче сжатого воздуха через тангенциальный ввод 1 в корпусе распылителя возникают вихревые потоки, которые создают в осевой области 3 разрежение, благодаря чему из емкости 2 через трубопровод в распылитель поступает жидкость. Вихревые потоки диспергируют поступающую жидкость в зоне 4 и распыляют ее через сопло в виде факела 6 мелкодисперсного потока (воздушно-жидкостного аэрозоля). Часть воздуха, отражаясь от дна рабочей полости, увлажняется и выходит через верхнее отверстие 7. Вследствие действия эффекта Ранка и частичного испарения жидкости температура выходящего воздуха 5 понижена.

Испарение распыляемой жидкости происходит в испарительной полости теплообменника, а через его сухую полость проходит охлаждаемый поток воздуха.

Экспериментальные зависимости снижения температуры выходящего из распылителя воздуха от давления сжатого воздуха на входе вихревой камеры при различных размерах диафрагм вихревого диспергатора-распылителя ВР 33 приведены на рис. 3. С увеличением давления сжатого воздуха возрастают скорости вихревых потоков, что и приводит к интенсификации процессов диспергирования жидкости и ее испарения внутри диспергатора-распылителя. Оптимальным давлением воздуха на входе вихревой камеры ВР 33 можно считать 0,15...0,2 МПа, при котором снижение температуры воздуха достигает 10 °С.

В случае совместной работы вихревой трубы и диспергатора-распылителя нагретый поток воздуха из вихревой трубы утилизируется в вихревом распылителе, обеспечивая его работу, что значительно повышает эффективность трубы.

Суммарная холодопроизводительность вихревых устройств кондиционера испарительно-вихревого типа может быть определена из условия

$$Q_{\Sigma} = Q_{vt} + Q_{hex} + Q_{disp},$$

где  $Q_{vt}$  — количество теплоты, отведенное от воздуха при охлаждении в вихревой трубе (холодопроизводительность трубы);

$Q_{hex}$  — количество теплоты, отведенное от воздуха при прохождении по сухой полости теплообменника;

$Q_{disp}$  — количество теплоты, отведенное от воздуха при прохождении через вихревой диспергатор-распылитель.

Средняя холодопроизводительность вихревой трубы

$$Q_{vt} = c_p G_c \Delta T.$$

Количество тепла, отведенного от воздуха при прохождении по сухой полости теплообменника, составит

$$Q_{hex} = G_{hex} c'_p (t_1 - t_2),$$

где  $G_{hex}$  — расход воздуха через сухую полость теплообменника, кг/ч;

$t_1$  и  $t_2$  — соответственно температура воздуха на входе и выходе из теплообменника.

Количество тепла, необходимое для испарения в теплообменнике распыленной воды, равно

$$Q_{ev} = G_{ev} r,$$

где  $G_{ev}$  — количество паров воды, образовавшихся в процессе испарения, кг/ч;

$r$  — теплота парообразования для воды, кДж/кг.

Количество паров воды, образовавшихся в процессе испарения:

$$G_{ev} = G_{hexw} (d_2 - d_1),$$

где  $G_{hexw}$  — расход воздуха через испарительную полость теплообменника;

$d_2$  и  $d_1$  — влагосодержание паров в воздухе на выходе и входе теплообменника.

Принцип работы вихревой климатической системы основан на совместной реализации процессов охлаждения воздуха в вихревой трубе и при диспергировании и испарении жидкости, распыляемой вихревым диспергатором-распылителем. Вихревые устройства отличаются от аналогов чрезвычайной простотой (в их конструкции всего от 4 до 5 деталей) и высокой надежностью в работе (нет подвижных соединений), малой энергоемкостью (работают при давлении сжатого воздуха 0,20...0,25 МПа).

#### Список литературы

1. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике. — М.: Машиностроение, 1969.
2. Пиралишвили Ш. А. Вихревой эффект // Известия РАН. Энергетика. 2000. № 5.
3. Тарнопольский, А. В. Исследование процессов тепло- и массопереноса в двухфазных жидкостно-газовых вихревых потоках / А. В. Тарнопольский // Вестник ИжГТУ: период. науч.-теор. журн. ИжГТУ. 2006. № 2.