

ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ

Основные определения

Воздух, не содержащий водяного пара, называется *сухим*; если же в его состав входит водяной пар, то воздух называется *влажным*.

Влажный воздух в случаях, представляющих интерес для техники, содержит перегретый или сухой насыщенный водяной пар.

Воздух может быть и *пересыщенным*, т.е. содержать влажный пар (например, облака), но этот случай технического интереса не представляет.

Водяной пар, содержащийся во влажном воздухе, можно рассматривать как идеальный газ.

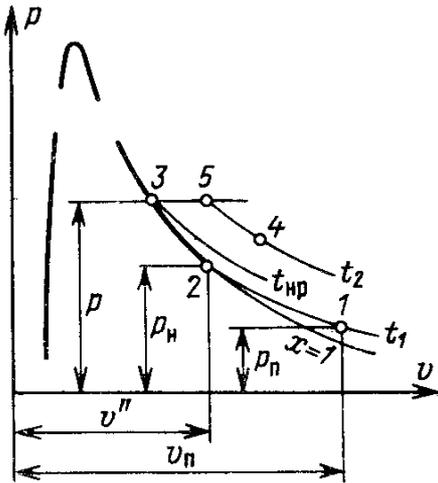
Закон Дальтона для влажного воздуха

$$p = p_e + p_n$$

где p_e и p_n – парциальные давления сухого воздуха и водяного пара в смеси.

Абсолютная влажность воздуха – количество пара в килограммах, приходящееся на 1 м^3 влажного воздуха.

Абсолютная влажность воздуха численно равна плотности содержащегося в нём водяного пара ρ при его парциальном давлении в воздухе p_n и температуре воздуха t .



Максимально возможное содержание водяного пара в воздухе при температуре t_1 будет тогда, когда парциальное давление пара p_n станет равным p_H (точка 2). В этом случае влажный воздух будет представлять собой смесь сухого воздуха и сухого насыщенного пара. Такой воздух называется *насыщенным*.

Высшим пределом парциального давления пара во влажном воздухе при $t < t_{\text{нр}}$ является давление насыщения p_n при данной температуре воздуха, а при $t \geq t_{\text{нр}}$ этим пределом является само давление влажного воздуха p .

Относительная влажность воздуха

Относительная влажность – отношение действительного содержания водяного пара во влажном воздухе к максимально возможному содержанию его в том же объеме влажного воздуха при данной температуре

$$j = \frac{r_n}{r_{\text{макс}}}$$

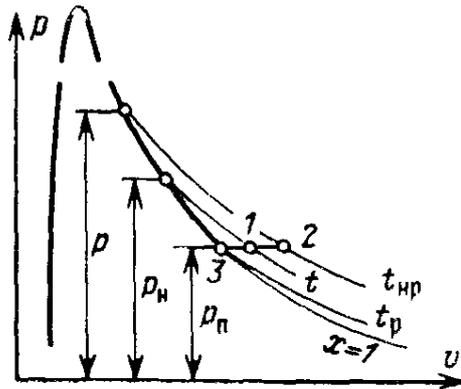
При $t \leq t_{\text{нр}}$ величина $\rho_{\text{макс}}$ представляет собой плотность сухого насыщенного пара при данной температуре, т.е. r'' а, при $t > t_{\text{нр}}$ – плотность перегретого пара при данной температуре t и давлении смеси p .

Водяной пар во влажном воздухе подчиняется законам идеальных газов, и в частности закону Бойля–Мариотта, согласно которому плотность газа изменяется прямо пропорционально его давлению.

$$\text{При } t \leq t_{\text{нр}} \quad j = \frac{r_n}{r''} = \frac{p_n}{p_n}$$

$$\text{При } t \geq t_{\text{нр}} \quad j = \frac{r_n}{r_{\text{макс}}} = \frac{p_n}{p}$$

где p – суммарное давление влажного воздуха.



Если воздух охлаждать при постоянном давлении, то p_n будет уменьшаться, соответственно относительная влажность φ будет увеличиваться. При значении $p_n = p_n$ получаем $\varphi = 1$, т. е. воздух станет насыщенным.

Дальнейшее охлаждение будет вызывать пересыщение и начнется конденсация пара, при которой влага будет выделяться из смеси

в виде росы.

Температура, при которой у влажного воздуха с заданным парциальным давлением пара $\varphi = 1$, называется *температурой точки росы* t_p .

Влагосодержание и энтальпия влажного воздуха

Влагосодержание воздуха d – отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха в смеси, или отношение плотностей пара и сухого воздуха, взятых при соответствующих парциальных давлениях

$$d = \frac{r_n}{r_e}$$

Из уравнения состояния $r = \frac{1}{J} = \frac{p}{RT}$, откуда $r_n = \frac{p_n}{R_n T}$, $r_e = \frac{p_e}{R_e T}$

$$d = \frac{p_n}{R_n T} \frac{R_e T}{p_e} = \frac{R_e}{R_n} \frac{p_n}{p_e} = \frac{287}{462} \frac{p_n}{p_e} = 0,622 \frac{p_n}{p_e}$$

Энтальпия влажного воздуха суммируется из энтальпии 1 кг сухого воздуха и d кг водяного пара

$$I = i_{cv} + di_n, \text{ кДж на 1 кг сухого воздуха.}$$

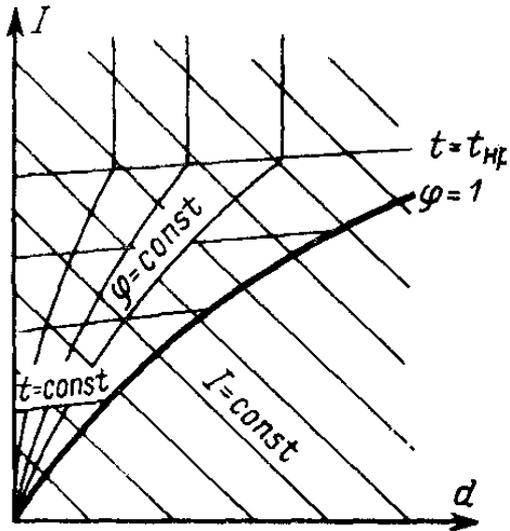
Энтальпия сухого воздуха $i_{cv} = c_{pсв}t$

Энтальпия водяного пара $i_n = 2490 + 1,97t$

Формула Л.К. Рамзина

$$I = t + d(2490 + 1,97t) \text{ кДж на 1 кг сухого воздуха}$$

I-d – диаграмма влажного воздуха



Расчеты процессов, в которых происходит изменение состояния влажного воздуха, производятся графически, с помощью I - d -диаграммы, предложенной в 1918 г. проф. Л.И Рамзиным.

По оси абсцисс откладывается влагосодержание воздуха d , а по оси ординат – его энтальпия I .

На диаграмму наносится система изотерм $t = \text{const}$, которые в области перегретого пара также изображаются прямыми линиями.

Формулу энтальпии можно представить

$$I = a + bd$$

где коэффициенты a и b при заданной температуре имеют постоянную величину, – уравнение прямой линии.

Кривая $\varphi = 1$ служит границей рабочей части диаграммы и на ней заканчиваются изотермы.

Линии $\varphi = \text{const}$ поднимаются до изотермы, соответствующей температуре насыщения при заданном барометрическом давлении (при $p = 745$ мм рт. ст. $t_{\text{нр}} = 99,4^\circ\text{C}$), после чего круто, практически вертикально, поднимаются вверх.

Действительно, при $t > t_{нр}$

$$p_n = j p$$

Тогда

$$d = 0,622 \frac{p_n}{p - p_n} = 0,622 \frac{j p}{p - j p} = 0,622 \frac{j}{1 - j},$$

$$\text{или } j = \frac{d}{d + 0,622}$$

Таким образом, при $t > t_{нр}$ величина φ зависит только от влагосодержания и для заданного значения d остается постоянной, сколько бы ни повышалась температура.