

## Основные свойства влажного воздуха

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. С технической точки зрения смесь этих газов (без водяного пара) допустимо называть "сухой воздух", а атмосферный воздух представлять как смесь сухого воздуха и водяного пара. Количество водяного пара, содержащееся в воздухе, может быть выражено различными способами, в частности, через:

- упругость, или парциальное давление паров воды;
- абсолютную влажность;
- относительную влажность, или гигрометрический показатель.

**Давление атмосферного воздуха ( $P_6$ )** представляет собой сумму парциальных давлений сухого воздуха  $P_c$  и водяного пара  $P_n$  (закон Дальтона):  $P_6 = P_c + P_n$  (1)

Если газы могут смешиваться в любых пропорциях и количествах, то воздух может вместить лишь определенное количество водяных паров, потому что парциальное давление паров воды в смеси не может быть выше парциального давления насыщения этих паров при данной температуре. Существование предельного парциального давления насыщения проявляется в том, что все избыточные пары воды сверх этого количества будут конденсироваться. При этом влага может выпадать в виде капель воды, кристаллов льда, тумана или изморози.

**Абсолютная влажность** - количество пара (кг), содержащееся в одном кубическом метре влажного воздуха. Для практических расчетов за единицу измерения, характеризующую содержание пара во влажном воздухе, принимают влагосодержание.

**Влагосодержание** влажного воздуха ( $d$ ) - количество пара, содержащееся в объеме влажного воздуха, состоящего из 1 кг сухого воздуха и  $M_n$  пара:

$$d = M_n / M_c \times 1000 \text{ или } d = 622 \times P_n / (P_6 - P_n), \quad (2)$$

где  $M_c$  - масса сухой части влажного воздуха, кг.

**Относительной влажностью ( $\phi$ )**, или степенью влажности, или гигрометрическим показателем, называют отношение парциального давления паров воды к парциальному давлению насыщенных паров, выраженное в процентах:  $\phi' = P_n / P_n \times 100\%$ . (3)

Для практических расчетов используют соотношение  $\phi = d_n / d_n \times 100\%$ , (4) но  $\phi'$  хоть и незначительно, но отличается от  $\phi$ .

Относительную влажность можно определить, измеряя интенсивность испарения воды. Естественно, чем ниже влажность, тем активнее будет идти испарение влаги. Если термометр обмотать влажной тканью, то показания его будут уменьшаться относительно сухого термометра. Разность показаний температур сухого и влажного термометров дают определенное значение степени влажности атмосферного воздуха. В данном случае оно определяется по психрометрической номограмме или таблице.

Измерение парциальных давлений на практике связано с техническими трудностями, поэтому при расчетах чаще пользуются соотношением (4).

**Плотность (объемный вес)** влажного воздуха - вес 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха может быть определена по формуле:  $\gamma = 1,293 \times 273 / T \times (P_6 / 760 - 0,378 \times P_n / 760)$ , кг/м<sup>3</sup> (5). Объемный вес влажного воздуха при тех же значения температуры и давления. Однако их разность незначительна, и в практических расчетах объемный вес влажного воздуха принимается равным объемному весу сухого воздуха. Так, объемный вес насыщенного воздуха при  $t = 20^\circ\text{C}$  и  $P_6 = 760$  мм.рт.ст. составляет 1,178 кг/м<sup>3</sup>, а сухого воздуха при тех же условиях - 1,205 кг/м<sup>3</sup>.

**Удельная теплоемкость воздуха ( $c$ )** - это количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг воздуха на 1°K. Удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении зависит от температуры, однако для практических расчетов удельную теплоемкость как сухого, так и влажного воздуха считают равной:

$$c = 1 \text{ кДж/(кг K)} = 0,24 \text{ ккал/(кг K)} \quad (6)$$

Удельную теплоемкость водяного пара принимают равной 0,44 ккал / (кг K).

**Сухое или явное тепло** - тепло, которое добавляется или отводится от воздуха без изменения агрегатного состояния пара (изменяется только температура).

**Скрытое тепло** - тепло, идущее на изменение агрегатного состояния пара без изменения температуры (например, осушка).

**Энтальпия (теплосодержание)** влажного воздуха  $I_в$  - это количество тепла, которое содержится в объеме влажного воздуха, сухая часть которого весит 1 кг. Иначе говоря, это количество теплоты, которое необходимо для нагревания от нуля до данной температуры такого количества воздуха, сухая часть которого равна 1 кг.

Энтальпия сухого воздуха равна:

$$I_{св} = ct = 0,24t, \text{ ккал/кг} \quad (7)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воздуха, равная 0,24 ккал/(кг K)

Энтальпия 1 кг водяного пара равна:

$$I_{вп} = 597,3 + 0,44t, \text{ ккал/кг} \quad (8)$$

где 597,3 - скрытая теплота испарения 1 кг воды при температуре ноль градусов, ккал/кг;

0,44 - теплоемкость водяного пара, ккал/(кг\*K)

При температуре влажного воздуха  $t$  и влагосодержании  $d$  энтальпия равна:

$$I = 0,24t + (597,3 + 0,44t) \times d / 1000, \text{ ккал/кг}, \quad (9)$$

где  $d = \phi / 100 \times d_n$ , г/кг.

На практике скрытая теплота испарения водяных паров составляет значительную часть тепла, а теплоемкостью водяного пара можно пренебречь. Приближенное выражение для практических расчетов имеет следующий вид:

$$I = 0,24t + 0,6t. \quad (10)$$

**Точка росы.**

При нагревании или охлаждении влажного воздуха происходит изменение его температуры и энтальпии, но сохраняется влагосодержание. Относительная влажность при этом изменяется, так как изменяется его влагоемкость.

Если влажный воздух охлаждать при неизменном влагосодержании, то будет снижаться энтальпия и температура, а относительная влажность будет увеличиваться. Наступит момент, когда воздух станет насыщенным и его относительная влажность достигнет 100%. При дальнейшем охлаждении воздуха начнется испарение из воздуха влаги в виде росы - *конденсация пара*. Эта температура называется *точкой росы*. Точка росы является пределом возможного охлаждения влажного воздуха при неизменном влагосодержании. Для определения точки росы необходимо найти такую температуру, при которой влагосодержание воздуха  $d$  будет равно его влагоемкости  $d_n$ .

t, °C	Относительная влажность, %										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Точка росы, °C										
0	-9,2	-8,2	-6,5	-5,7	-4,9	-3,7	-3,0	+2,2	+1,5	+0,6	0
+2	-7,1	-5,7	-4,8	-3,7	-2,5	-1,9	-0,9	0	+0,9	+1,5	+2
+4	-5,3	-4,1	-2,9	-1,9	-0,9	0	+0,9	+1,8	+2,4	+3,2	+4
+6	-3,7	-2,2	-1,3	0	+0,9	+1,8	2,9	+3,8	+4,5	+5,1	+6
+8	-1,9	+0,5	+0,6	+1,8	+2,7	+3,8	+4,5	+5,5	+6,4	+7,2	+8
+10	0	+1,5	+2,5	+3,7	+4,5	+5,8	+6,8	+7,6	+8,5	+9,2	+10
+12	+2	+3,2	+4,3	+5,5	+6,8	+7,8	+8,5	+9,6	+10,5	+11,3	+12
+14	+3,7	+4,8	+6,2	+7,4	+8,5	+9,6	+10,5	+11,4	+12,3	+13,1	+14
+16	+5,6	+7	+8,3	+9,4	+10,5	+11,6	+12,6	+13,5	+14,4	+15,2	+16
+18	+7,4	+8,9	+10	+11,3	+12,4	+13,5	+14,6	+15,5	+16,5	+17,2	+18
+20	+9,2	+10,5	+11,9	+13,1	+14,4	+15,5	+16,5	+17,4	+18,3	+19,2	+20

