

К ВОПРОСУ О ПОДСЧЕТЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА ПО ПСИХРОМЕТРУ

Г. И. ФУКС, В. В. БАНЮХА

(Представлена кафедрой теоретической и общей теплотехники)

1

Если считать, что водяной пар в воздухе является идеальным газом, то его влагосодержание d и парциальное давление P_n связаны соотношением

$$d = 0,622 \frac{P_n}{B - P_n} \frac{\text{кг}}{\text{кг с. в.}}, \quad (1)$$

где B — барометрическое давление.

Если воздух насыщен водяным паром при температуре мокрого термометра t_m , точка A на рис. 1, то его влагосодержание

$$d_{nm} = 0,622 \frac{P_{nm}}{B - P_{nm}}, \quad (2)$$

где P_{nm} — давление сухого пара при t_m .

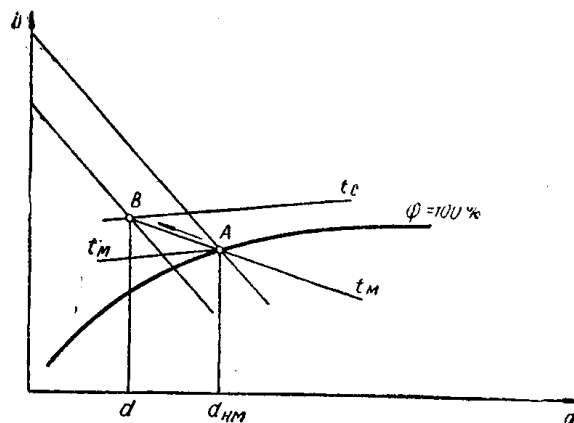


Рис. 1

Энтальпия воздуха в этом состоянии

$$i_{nm} = 1,004t_m + d_{nm}(2500 + 1,916t_m) \frac{\text{кЖ}}{\text{кг с. в.}}. \quad (3)$$

Насыщение воздуха при проходе мимо мокрого термометра можно рассматривать как процесс обдувания свободной поверхности.

Состояние воздуха меняется при этом от B до A (рис. 1), температура снижается от температуры сухого термометра t_c до t_m , влагосодержание растет от d до d_{nm} , энтальпия растет от i до i_{nm} . Как установлено, энтальпия и влагосодержание меняются по закону изотермы в области тумана при температуре t .

$$i = i_{nm} + (d - d_{nm}) 4,187 t_m, \quad (4)$$

где $4,187 \text{ кж/кг. град}$ — теплоемкость жидкой H_2O .

При температуре сухого воздуха энтальпия и влагосодержание связаны соотношением

$$i = 1,004 t_c + d (2500 + 1,926 t_c). \quad (5)$$

Состояние воздуха при температуре сухого термометра определится пересечением изотермы t_c с изотермой t_m (точка B рис. 1). Использование (4), (5) с учетом (3) дает

$$d = \frac{d_{nm} (2500 - 2,261 t_m) - 1,004 (t_c - t_m)}{(2500 - 2,261 t_m) + 1,926 (t_c - t_m)}. \quad (6)$$

По этому значению d из (1) определяется парциальное давление водяного пара в воздухе

$$P_n = \frac{dB}{0,622 + d}, \quad (1')$$

а затем относительная влажность

$$\varphi = \frac{P_n}{P_{nc}} \quad (7)$$

и абсолютная влажность

$$\gamma_n = \varphi \gamma_{nc}, \quad (8)$$

где P_{cn} и γ_{nc} — давление и плотность сухого пара при температуре сухого термометра.

Возможно также вычисление парциального давления пара в воздухе по соотношению

$$\frac{P_n}{B} = \frac{\frac{P_{nm}}{B} (2500 - 2,261 t_m) - 1,614 \left(1 - \frac{P_{nm}}{B}\right) (t_c - t_m)}{(2500 - 2,261 t_m) + 0,312 \left(1 - \frac{P_{nm}}{B}\right) (t_c - t_m)}. \quad (9)$$

Как видно из приведенных выражений, влияние барометрического давления может быть довольно значительным. Так, при температурах $t_c = 30^\circ\text{C}$ и $t_m = 20^\circ\text{C}$ и $B = 500 \text{ торр}$ относительная влажность будет $42,2\%$, а при $B = 1000 \text{ торр}$ — $34,5\%$. Учет барометрического давления по приведенным соотношениям является более надежным, чем по приближенным зависимостям.

2

При значительном парциальном давлении пара может появиться необходимость учета отклонения свойств пара H_2O от идеально-газового состояния. Влагосодержание воздуха определяется соотношением

$$d = \frac{\gamma_n}{\gamma_{cv}}. \quad (a)$$

Плотность сухого воздуха γ_{cv} определяется из уравнения состояния

$$B - P_n = 287,2 \gamma_{cv} (273,15 + t), \quad (10)$$

где $287,2 \text{ Дж/кг. град}$ — газовая постоянная сухого воздуха.

Из (а) и (10) получается

$$d = 287,2 \frac{\gamma_n (273,15 + t)}{B - P_n} \frac{\text{кг}}{\text{кг.св}}. \quad (11)$$

Если известны температура и относительная влажность воздуха, то плотность пара γ_n определится из (8). По таблице для перегретого пара по t и $V_n = \frac{1}{\gamma_n}$ найдется P_n , а затем по (11) можно определить d . Для воздуха, насыщенного паром, плотность и давление определяются по таблице для сухого пара.

Определение парциального давления пара P_n по известным значениям температуры и влагосодержания производится путем постепенных приближений.

Сначала по (I') определяется приближенное значение P'_n и из (II) — соответствующее значение γ'_n и $\left(V'_n = \frac{1}{\gamma'_n}\right)$. Используя эти значения, определяем по таблицам перегретого пара исправленное значение P''_n и по (II) — более точное значение γ''_n . Дальнейшее уточнение производится аналогично, но обычно оно является излишним. Для воздуха, насыщенного водяным паром, соотношение (II) получает вид

$$d_n = 287,2 \frac{\gamma_n (273,15 + t)}{B - P_n}, \quad (11')$$

где P_n и γ_n берутся из таблицы сухого пара.

3

Энтальпия влажного воздуха определяется из соотношения

$$i = i_{св} + di_n. \quad (12)$$

Энтальпия сухого $i_{св}$ (при t_c) может быть взята по его температуре из таблиц. Энтальпия пара i_n зависит, кроме того, от парциального давления пара в воздухе. Для насыщенного воздуха при температуре мокрого термометра

$$i_{нм} = i'_{св} + d_{нм} i_{нп}, \quad (13)$$

где $i'_{св}$ и $i_{нп}$ берутся при температуре мокрого термометра, а величина $d_{нм}$ определяется по (II'). Если пренебречь изменением теплоемкости жидкой H_2O с температурой, то связь энтальпии и влагосодержания при температуре мокрого термометра в области тумана выражается соотношением

$$i = i_{нм} + 4,187 (d - d_{нм}) t_m. \quad (14)$$

Из (12) и (14) с учетом (13) получается

$$d = \frac{d_{нм} (i_n - 4,187 t_m) - (i_{св} - i'_{св})}{i_n - 4,187 t_m}. \quad (15)$$

Для расчета по этому соотношению надо предварительно найти энтальпию пара i_n при температуре сухого термометра, что, в свою очередь, требует знания парциального давления пара P_n в воздухе. Но энтальпия пара при данной температуре очень слабо изменяется с изменением его давления. Поэтому для определения P_n можно использовать (6) и (I') или (9), а затем по P_n и температуре t_c найти, пользуясь таблицей для перегретого пара, значение i_n . Незначительная погрешность будет иметь место и в том случае, если в соотношение (15) вместо i_n подставить значение энтальпии сухого пара при температуре сухого термометра.

По рассчитанной из (15) величине влагосодержания определяются, как было указано, абсолютная и относительная влажности воздуха.