

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 $P_{\text{п}}$ связаны соотношением

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

где B — барометрическое давление.

Если воздух насыщен водяным паром при температуре мокрого термометра $t_{\text{м}}$, точка A на рис. 1, то его влагосодержание

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

где $P_{\text{нм}}$ — давление сухого пара при $t_{\text{м}}$.

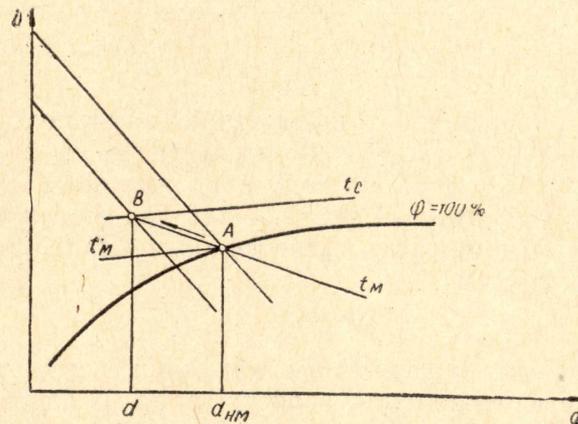


Рис. 1

Энтальпия воздуха в этом состоянии

$$i_{\text{нм}} = 1,004t_{\text{м}} + d_{\text{нм}}(2500 + 1,916t_{\text{м}}) \frac{\text{кЖсд}}{\text{кг с. в.}}. \quad (3)$$

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 $d_{\text{нм}}$, энтальпия растет от i до $i_{\text{нм}}$. Как установлено, энтальпия и влагосодержание меняются по закону изотермы в области тумана при температуре t .

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

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

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

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

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

а затем относительная влажность

$$\varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{нс}}} \quad (7)$$

и абсолютная влажность

$$\gamma_{\text{п}} = \varphi \gamma_{\text{нс}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{сн}}$ и $\gamma_{\text{нс}}$ — давление и плотность сухого пара при температуре сухого термометра.

Возможно также вычисление парциального давления пара в воздухе по соотношению

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

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

$$d = \frac{\gamma_{\text{п}}}{\gamma_{\text{св}}}. \quad (a)$$

Плотность сухого воздуха $\gamma_{\text{св}}$ определяется из уравнения состояния

$$B - P_{\text{п}} = 287,2 \gamma_{\text{св}} (273,15 + t), \quad (10)$$

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

Из (а) и (10) получается

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

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

Определение парциального давления пара $P_{\text{п}}$ по известным значениям температуры и влагосодержания производится путем постепенных приближений.

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

$$d_{\text{н}} = 287,2 \frac{\gamma_{\text{п}}(273,15 + t)}{B - P_{\text{п}}}, \quad (11')$$

где $P_{\text{п}}$ и $\gamma_{\text{п}}$ берутся из таблицы сухого пара.

3

Энтальпия влажного воздуха определяется из соотношения

$$i = i_{\text{св}} + di_{\text{п}}. \quad (12)$$

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

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

где $i'_{\text{св}}$ и $i_{\text{нп}}$ берутся при температуре мокрого термометра, а величина $d_{\text{нм}}$ 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

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

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

$$d = \frac{d_{\text{нм}}(i_{\text{п}} - 4,187 t_{\text{м}}) - (i_{\text{св}} - i'_{\text{св}})}{i_{\text{п}} - 4,187 t_{\text{м}}}. \quad (15)$$

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

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