

Энергомашиностроение.

6

Лекция №18 Влажный воздух

- Параметры влажного воздуха.
- Температура мокрого термометра.
- dh*** – диаграмма влажного воздуха.
- Смешение потоков влажного воздуха.
- Определение влажности воздуха по температуре мокрого и сухого термометров.
- Кондиционирование воздуха.

Параметры влажного воздуха

В зависимости от температуры и полного давления смеси количество водяного пара во влажном воздухе не может превышать определённой величины.

Смесь сухого воздуха с перегретым водяным паром называется ненасыщенным влажным воздухом. Для такой смеси справедливо условие $p_n < p_n$. Смесь сухого воздуха с насыщенным водяным паром называется насыщенным влажным воздухом $p_n = p_n$.

Парциальное давление водяного пара в воздухе обычно мало, поэтому и водяной пар при этих условиях можно считать идеальным газом.

Абсолютная и относительная влажность воздуха.

Масса водяного пара, содержащегося в 1 м³ влажного воздуха, называется **абсолютной влажностью**. Парциальной плотность пара:

$$\rho_n' = \frac{m_n}{V} = \frac{p_n m_n}{R_n T} \quad (1)$$

Отношение абсолютной влажности воздуха ρ_n' к максимально возможной абсолютной влажности ρ_n' при данной температуре называется **относительной влажностью**.

$$\varphi = \frac{\rho_n'}{\rho_n'} = \frac{p_n}{p_n} \quad (2)$$

Влагосодержание и степень насыщения.

Отношение массы m_n водяного пара, содержащегося во влажном воздухе, к массе m_v сухого воздуха называется **влагосодержанием** d влажного воздуха

$$d = \frac{m_n}{m_v} = \frac{\rho_n'}{\rho_v'} \quad (3)$$

Отношение количества водяного пара, содержащегося во влажном воздухе, к количеству сухого воздуха называется **молярным влагосодержанием** x влажного воздуха:

$$x = 1.61d \qquad d = 0,622x$$

$$x = \left(\frac{m_n}{\mu_n}\right) / \left(\frac{m_e}{\mu_e}\right) \qquad (4)$$

$$x = \frac{p_n}{p - p_n} \qquad (5)$$

$$d = \frac{0,622p_n}{p - p_n} \qquad (6)$$

p – давление влажного воздуха.

$$d = \frac{0,622 \varphi p_n}{p - \varphi p_n}; \varphi = \frac{pd}{(d + 0,622) p_n}$$

$$p_n = \frac{d \cdot p}{(0,622 + d)} \qquad (7)$$

$$p_e = \frac{0,622 p}{(0,622 + d)} \qquad (8) \quad 3$$

$$x_n = \frac{p_n}{p - p_n} \quad (9)$$

$$d_n = \frac{0,622 p_n}{p - p_n} \quad (10)$$

Значение влагосодержания зависит от давления и температуры влажного воздуха.

Степень насыщения:

$$\psi = \frac{d}{d_n} \quad (11)$$

$$\psi = \frac{p_n(p - p_n)}{p_n(p - p_n)} = \frac{\varphi(p - p_n)}{(p - p_n)} \quad (12)$$

для умеренных температур влажного воздуха, можно принять, что

$$\psi = \varphi \quad (13)$$

Кажущаяся молярная масса, газовая постоянная и плотность влажного воздуха:

$$\mu = \mu_{\text{в}} r_{\text{в}} + \mu_{\text{н}} r_{\text{н}} = \frac{28,96(p - p_{\text{н}})}{p} + \frac{18,016 p_{\text{н}}}{p} = 28,96 - \frac{10,94 p_{\text{н}}}{p} \quad (14)$$

$$\mu = 28,96 - 10,94 \frac{\varphi p_{\text{н}}}{p} \quad (15)$$

$$R = \frac{8314}{\left(28,96 - \frac{10,94 p_{\text{н}}}{p}\right)} = \frac{8314}{\left(28,96 - \frac{10,94 \varphi p_{\text{н}}}{p}\right)} \quad (16)$$

Газовая постоянная влажного воздуха всегда больше постоянной сухого воздуха.

Массовые доли сухого воздуха и пара во влажном воздухе могут быть выражены через влагосодержание так:

$$g_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{m} = \frac{m_{\text{в}}}{(m_{\text{в}} + m_{\text{н}})} = \frac{1}{1 + d}$$

$$g_{\text{н}} = \frac{m_{\text{н}}}{m} = \frac{m_{\text{н}}}{(m_{\text{в}} + m_{\text{н}})} = \frac{d}{1 + d}$$

Газовая постоянная влажного воздуха:

$$R \approx \frac{(287 + 461d)}{(1 + d)} \quad (17)$$

Плотность влажного воздуха:

$$\rho = \frac{(28,96 p - 10,94 p_n)}{8314 \cdot T} \quad (18)$$

$$\rho = \left(\frac{\rho_n}{d}\right)(1 + d) \quad (19)$$

Парциальная плотность:

$$\rho_n = \left(\frac{m_n}{M}\right) = \frac{p_n}{R_n T} = \frac{d \cdot p}{(0,622 + d) R_n T} \quad (20)$$

$$\rho = \frac{p(1 + d)}{(0,622 + d) R_n T} \quad (21)$$

Теплоёмкость и энтальпия влажного воздуха.

Теплоёмкость влажного воздуха c_p обычно относят к $(1+d)$ кг влажного воздуха (или, что то же самое, к 1 кг сухого воздуха).

$$c_p = c_{pv} + d \cdot c_{pn} \quad (22)$$

Энтальпия влажного воздуха определяется как энтальпия газовой смеси, состоящей из 1 кг сухого воздуха и d кг водяного пара.

$$h = h_g + d \cdot h_n \quad (23)$$

$$h_n = r + c_{pn} t \quad (23a)$$

$$h = t + (2501 + 1,93 t)d \quad (24)$$

$$h = t + (1555 + 1,2 t)\varphi p_n \frac{1}{p - \varphi p_n} \quad (25)$$

$$h = t + (2501 + 1,93 t)d + 4,19 d_{ж} t + (2,1 t - 335) d_m \quad (26)$$

Температура мокрого термометра

Температура поверхности жидкости, достигнутая в результате процесса установления равновесия, называется температурой мокрого термометра t_m . Эта температура измеряется термометром, чувствительный элемент которого обёрнут влажной тканью.

$$h_2 - h_1 = c_{ж} t_m (d_2 - d_1) \quad (28)$$

$$h_1 = h_2 - 4,19 t_m d_2 \quad (29) \quad 7$$

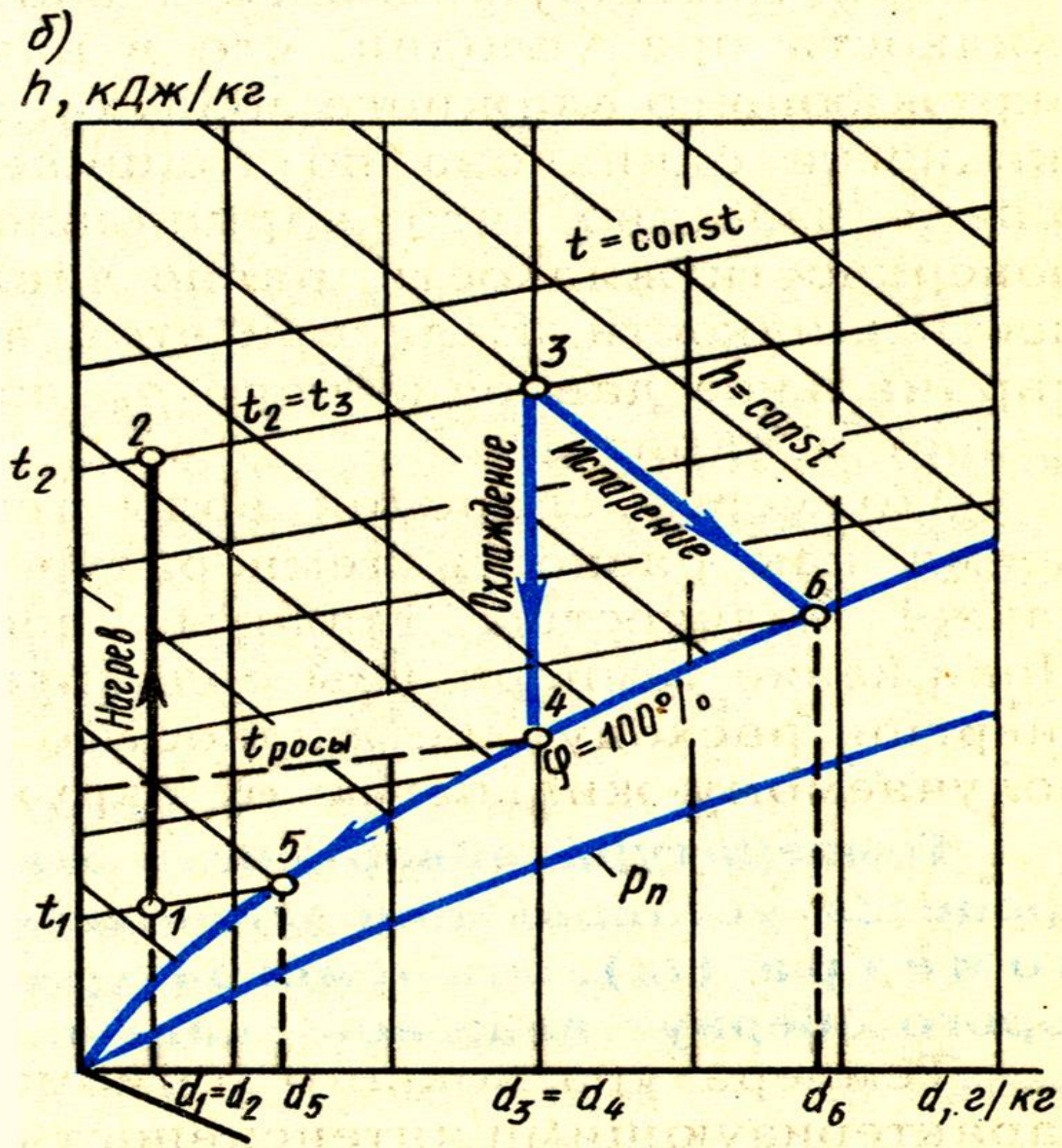


Рис. 2. dh – диаграмма влажного воздуха (изображение процессов, происходящих во влажном воздухе)

Смешение потоков влажного воздуха:

Запишем уравнение материального баланса:

$$d_m = \frac{(m_1 d_1 + m_2 d_2)}{m_m} = \frac{(m_1 d_1 + m_2 d_2)}{m_1 + m_2} \quad (30)$$

Уравнение энергетического баланса:

$$h_m = \frac{(m_1 h_1 + m_2 h_2)}{m_m} = \frac{(m_1 h_1 + m_2 h_2)}{m_1 + m_2} \quad (31)$$

$$a = \frac{(d_m - d_1)}{(d_2 - d_m)} \quad (32)$$

$$a = \frac{(h_m - h_1)}{(h_2 - h_m)} \quad (33)$$

$$\frac{(d_m - d_1)}{(d_2 - d_m)} = \frac{(h_m - h_1)}{(h_2 - h_m)} \quad (34)$$

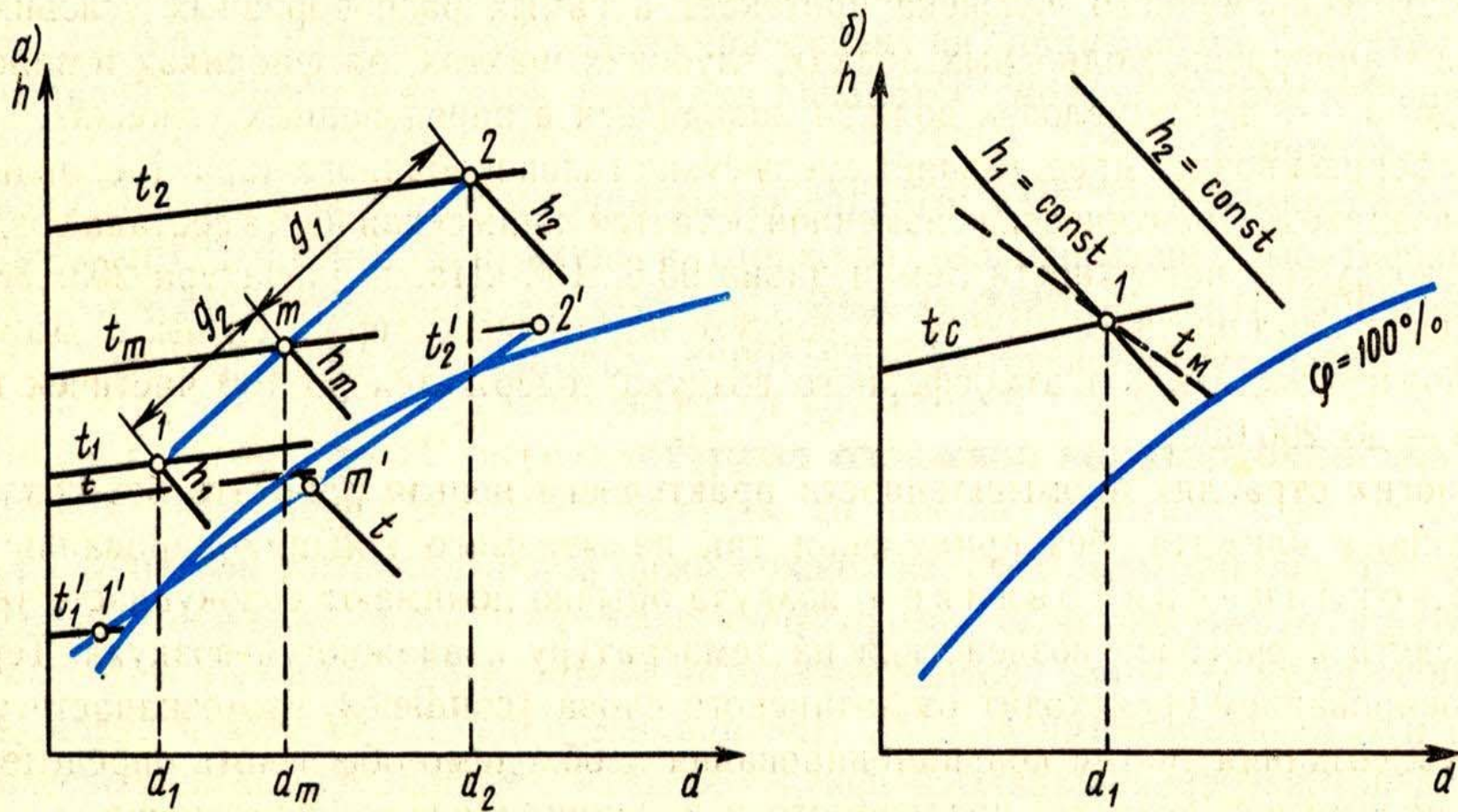


Рис. 3. Определение состояния влажного воздуха по dh - диаграмме: а – после смешения б – по температуре сухого и мокрого термометров

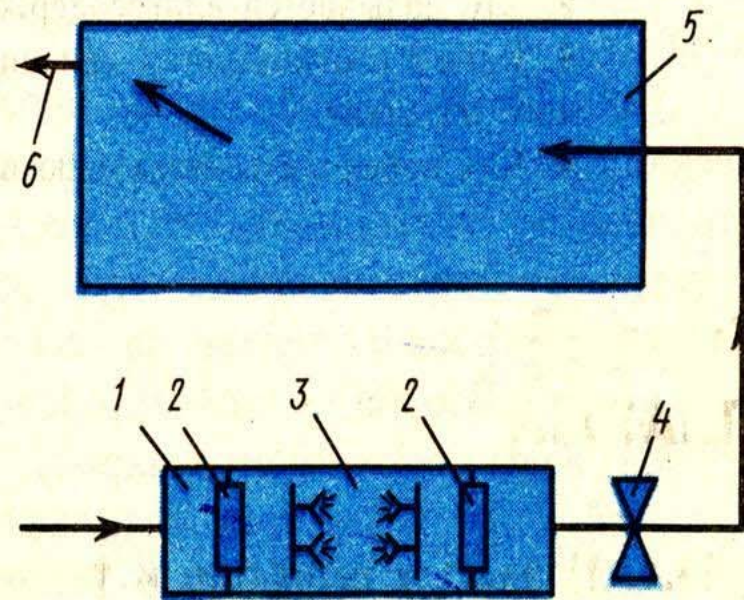
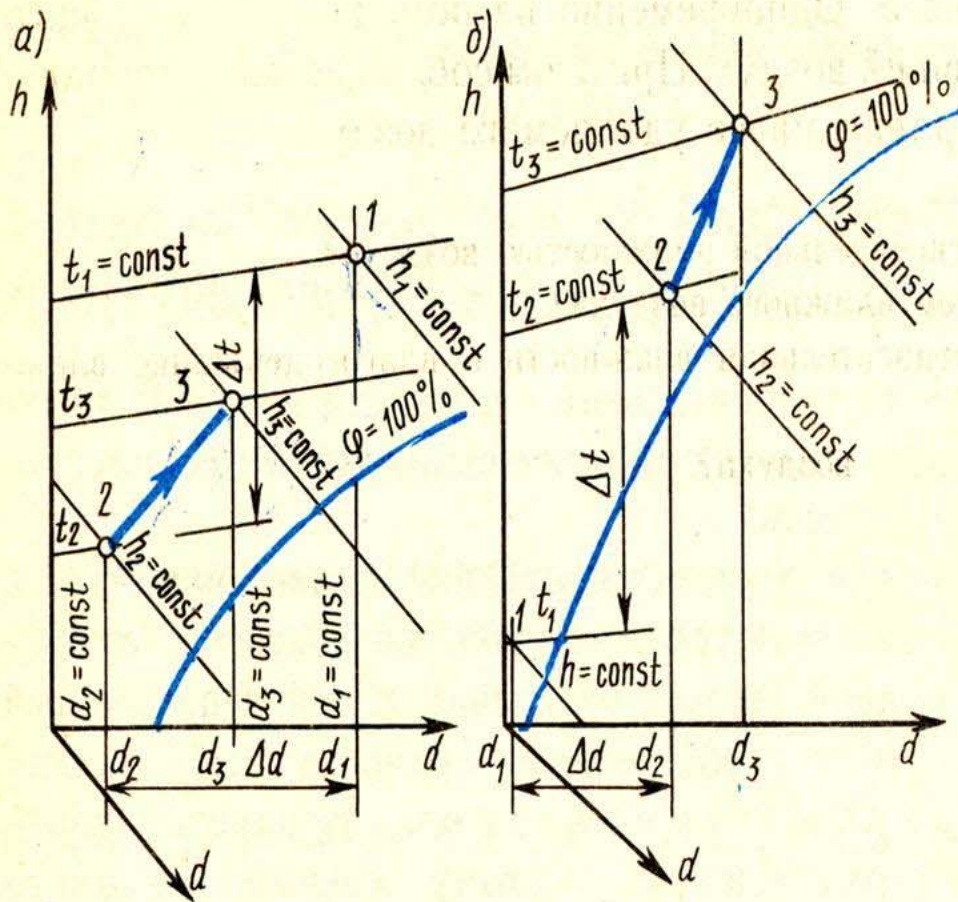


Рис. 4. Схема определение параметров влажного воздуха при кондиционировании:

а – на летнем, б – на зимнем режиме

1 – наружный влажный воздух ;

2 - состояние подаваемого в помещение приточного воздуха;

3 - состояние воздуха в помещении с t_3 , d_3

Рис. 5. Схема кондиционера

1 – кондиционер

2 – тепловая (калорифер) и влажная обработка

3 – оросительная установка

4 – вентилятор

5 – помещение

6 - форточка

Контрольные вопросы

- Параметры влажного воздуха
- Кажущаяся молярная масса, газовая постоянная и плотность влажного воздуха
- Температура мокрого термометра
- **dh** – диаграмма влажного воздуха
- Смещение потоков влажного воздуха
- Кондиционирование воздуха
- Определение состояния влажного воздуха по dh - диаграмме