

Лекция 6. Простейшие процессы изменения состояния влажного воздуха на I-d диаграмме

Для понимания процессов происходящих в помещении при его вентиляции и кондиционировании воздуха необходимо рассмотреть простейшие процессы изменения состояния влажного воздуха и их изображение на I-d диаграмме. К простейшим относятся процессы, протекающие при постоянстве одного из трех основных линейных параметров состояния: температуры t , влагосодержания d или энтальпии I .

Процессы при $d = \text{const}$ представлены на рисунке 1.

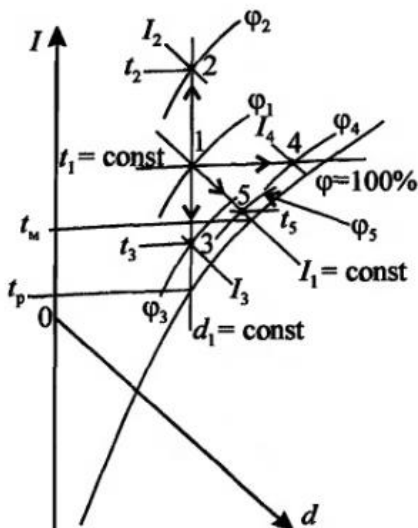


Рисунок 1 - Процессы изменения состояния воздуха при $d = \text{const}$, $t = \text{const}$, $I = \text{const}$

На рисунке 1 отрезок 1-2 — сухой нагрев в поверхностном воздухонагревателе (калорифере). При этом $t_2 > t_1$, $I_2 > I_1$, $\varphi_2 < \varphi_1$. Расход теплоты на нагрев потока воздуха с расходом G_B , кг/ч, можно определить по формуле:

$$Q_{1-2} = G_B c_B (t_2 - t_1) / 3,6, \quad (1)$$

где c_B - удельная теплоёмкость воздуха, кДж/(кг К).

Отрезок 1-2 - сухое охлаждение в поверхностном воздухоохладителе. При этом $t_1 > t_3 > t_p$, $I_1 > I_3$, $\varphi_1 < \varphi_3 < 100\%$. Расход теплоты на нагрев потока воздуха с расходом G_B , кг/ч, можно определить по формуле:

$$Q_{1-3} = G_B c_B (t_1 - t_3) / 3,6. \quad (2)$$

Если охлаждать воздух ниже точки росы, процесс идет с выпадением конденсата (с осушкой), как показано на рисунке 2. Как правило, относительная влажность в конце процесса составляет 90-95%. Условно такой процесс изображают одним отрезком, соединяющим начальную и конечную точки 1 и 3'. Продолжение этого отрезка пересекает кривую $\varphi = 100\%$ при температуре t_w подаваемого в аппарат холодоносителя. В этом случае от воздуха отводится не только явная, но и скрытая теплота, поэтому общее ее количество равно:

$$Q_{1-3'} = G_B (t_1 - t_{3'}) / 3,6. \quad (3)$$

Количество конденсирующейся влаги G_w , кг/ч, можно определить по формуле:

$$G_w = G_B (d_1 - d_{3'}) 10^3. \quad (4)$$

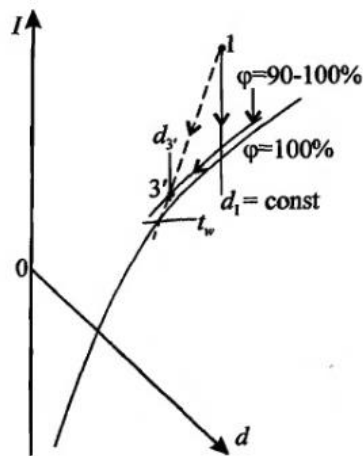


Рисунок 2 - Процесс охлаждения воздуха с осушкой

Процесс при $t = \text{const}$ представлен на рисунке 1 отрезком 1-4. При этом $I_4 > I_1$, $\varphi_1 < \varphi_4 < 100\%$. В отличие от случая $d = \text{const}$ по линии $t = \text{const}$ можно двигаться в сторону увеличения влагосодержания, если не применять оборудования специальной конструкции. Практически процесс 1-4 можно реализовать в пароувлажнителе.

Количество поступающей в воздух влаги в виде водяного пара $G_{\text{вп}}$, кг/ч, можно определить по формуле:

$$G_{\text{вп}} = G_{\text{в}}(d_4 - d_1)10^3. \quad (5)$$

Тогда, приращение влагосодержания воздуха Δd , г/кг, равно:

$$\Delta d = d_4 - d_1 = (G_{\text{вп}}/G_{\text{в}}) 10^{-3}. \quad (6)$$

При этом в воздух поступает практически только скрытая теплота Q , Вт, в количестве:

$$Q_{1-4} = G_{\text{в}}(I_4 - I_1)/3,6 = G_{\text{вп}}(2490 + 1,8t_{\text{вп}})/3,6 \quad (7)$$

Откуда приращение энтальпии воздуха ΔI , кДж/кг, равно:

$$\Delta I = \frac{G_{\text{вп}}}{G_{\text{в}}}(2490 + 1,8t_{\text{вп}}), \quad (8)$$

где $t_{\text{вп}}$ - температура подаваемого пара, $^{\circ}\text{C}$;

2490 - удельная теплота парообразования воды при 0°C , кДж/кг;

1,8 - средняя удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг К).

Тогда по определению угловой коэффициент луча происходящего процесса увлажнения ε , кДж/кг, равен:

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{\Delta d} \cdot 10^3 = 2490 + 1,8t_{\text{вп}}. \quad (9)$$

Процесс при $I = \text{const}$ представлен на рисунке 1 отрезком 1-5 - адиабатное (изоэнтальпийное) увлажнение и охлаждение. При этом $t_1 > t_5 > t_{\text{м}}$, $\varphi_1 < \varphi_5 < 100\%$.

Приближающийся к такому процесс можно осуществить в контактном аппарате (форсуночной камере или сотовом увлажнителе) с рециркулирующей водой. При этом поток поступающей в воздух скрытой теплоты за счет испарения воды будет равен обратному потоку явной теплоты от воздуха к воде за счет образовавшейся разности температур, так как при испарении вода приобретает температуру мокрого термометра $t_{\text{м}}$. Равенство этих двух потоков и обуславливает выполнение соотношения $I = \text{const}$. Величина $t_{\text{м}}$ является предельной температурой воздуха после данного процесса. Практически конечное значение относительной влажности составляет 90-95%, но может быть уменьшено специальными приемами, хотя получить $\varphi_5 < 65\%$ оказывается уже очень затруднительно.

Процессы изменения состояния воздуха при контакте его с водой.

Процесс смешения воздуха обычно происходит при рециркуляции, т.е. подмешивании части уходящего из помещения воздуха к наружному.

Процесс смешения на I-d диаграмме изображается отрезком 1-2, соединяющим точки состояния компонентов смеси (рисунок 3). Точка смеси С делит этот отрезок в отношении, обратном отношению расходов компонентов.

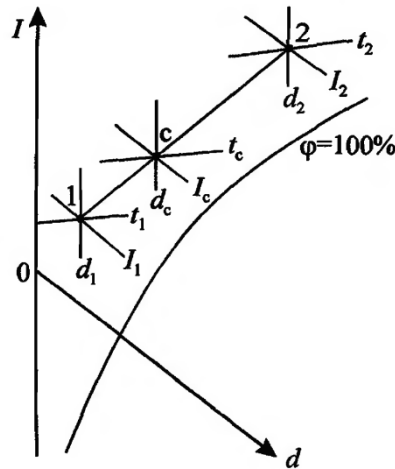


Рисунок 3 - Процесс смешения потоков воздуха с разными параметрами

Линейные параметры точки С можно найти через соответствующие параметры точек 1 и 2 и расходы компонентов G_1 и G_2 по однотипным формулам:

$$t_c = \frac{t_1 G_1 + t_2 G_2}{G_1 + G_2}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad d_c = \frac{d_1 G_1 + d_2 G_2}{G_1 + G_2}, \text{ г/кг}; \quad I_c = \frac{I_1 G_1 + I_2 G_2}{G_1 + G_2}, \text{ кДж/кг}, \quad (10)$$

или в общем виде:

$$P_c = \frac{P_1 G_1 + P_2 G_2}{G_1 + G_2}, \quad (11)$$

где P — любой линейный параметр (t , d , I).

Последняя формула получается из уравнения баланса смеси по каждому параметру:

$$P_1 G_1 + P_2 G_2 = (G_1 + G_2) P_c, \quad (12)$$

где в левой части стоит сумма потоков, вносимых в смесь с каждым компонентом, а в правой — общее содержание рассматриваемого параметра в смеси.

Отсюда получаем:

$$P_c - P_1 = \frac{P_1 G_1 + P_2 G_2}{G_1 + G_2} - P_1 = \frac{P_1 G_1 + P_2 G_2 - P_1 G_1 - P_1 G_2}{G_1 + G_2} = \quad (13)$$

$$= \frac{P_2 G_2 - P_1 G_2}{G_1 + G_2} = \frac{G_2}{G_1 + G_2} (P_2 - P_1)$$

Аналогично получаем:

$$P_2 - P_c = \frac{G_1}{G_1 + G_2} (P_2 - P_1) \quad (14)$$

Поэтому:

$$\frac{P_2 - P_c}{P_c - P_1} = \frac{G_1}{G_2} \quad (15)$$

Таким образом точка С действительно делит отрезок 1—2 в отношении, обратном отношению расходов.

Процессы изменения состояния воздуха при контакте его с водой.

Контакт воздуха с водой происходит при его обработке в контактных аппаратах (например, форсуночных камерах или сотовых увлажнителях) с непосредственным разбрызгиванием воды в воздухе. Из-за малого диаметра капель или малой толщины водяной пленки в таких аппаратах можно пренебречь разностью температуры на поверхности воды и в ее глубине и считать обе величины равной t_w .

На I-d диаграмме процесс обработки воздуха водой изображается отрезком, выходящим из точки начального состояния воздуха 1 и пересекающим кривую $\varphi = 100\%$ при температуре t_w (рисунок 4). Как правило, реальная относительная влажность в конце процесса (точка О) составляет 90—95%, но она может быть уменьшена за счет, например, сокращения расхода воды или укорочения орошаемой насадки в аппарате, но обычно не более чем до 65%.

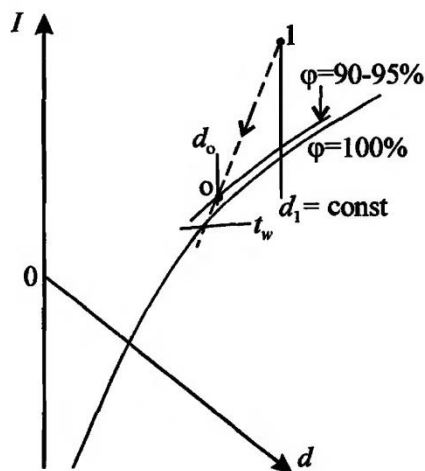


Рисунок 4 - Процесс обработки воздуха водой

Таким образом, луч процесса обработки воздуха водой представляет собой некоторую секущую для кривой $\varphi = 100\%$, а поскольку предельным положением секущей является касательная, все возможные процессы обработки водой заключены в области между двумя касательными, проведенными из точки 1 к кривой $\varphi = 100\%$ (рисунок 5).

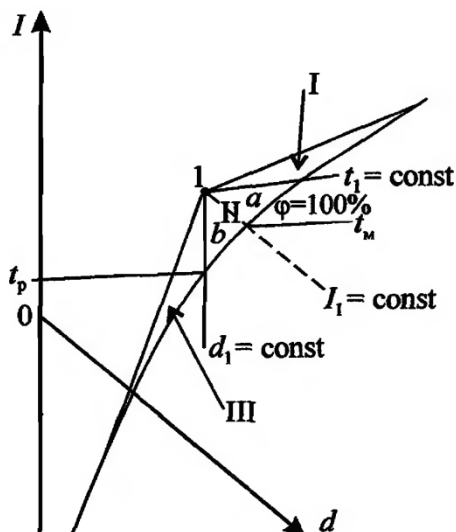


Рисунок 5 - Возможные процессы обработки воздуха водой

Линии $d_1 = \text{const}$ и $t_1 = \text{const}$ делят эту область на три сектора: I - нагрев и увлажнение ($t_w > t_1$), II - охлаждение и увлажнение и III - охлаждение и осушка ($t_w < t_p$). В последнем случае капли воды не только не испаряются, но и, наоборот, поглощают водяные пары из воздуха. Линия $I_1 = \text{const}$ делит сектор II на две зоны: a ($t_w > t_m$) — энтальпия повышается, так как скрытой теплоты к воздуху подводится больше, чем отводится явной, и b ($t_w < t_m$) — энтальпия понижается, так как явной теплоты отводится больше, чем подводится скрытой.