

ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Тема: *Свойства воздуха и процессы
изменения его состояния*

ГУСЕВ К.П.

Лекция

2

2 Свойства воздуха и процессы изменения его состояния

- *Вредности – тепло, влага, газы, пары и пыли, переносимые основным рабочим телом в вентиляционных системах – воздухом.*

2.1 Свойства влажного воздуха

- Свойства воздуха определяются его **тепловлажностным** состоянием, газовым составом и содержанием вредных газов, паров и пыли.
- Окружающий нас атмосферный воздух является смесью газов. Он практически всегда бывает влажным. Водяные пары в отличие от других составляющих смеси могут находиться в воздухе как в перегретом, так и в насыщенном состоянии.
- Сухая часть влажного воздуха обычно содержит 78% по объему азота, около 21% кислорода, около 0,03% углекислоты, незначительное количество инертных газов (аргон, неон, гелий, ксенон, криптон), водорода, озона и др.

Согласно закону Дальтона каждый газ в смеси, занимая весь объем, имеет свое парциальное давление p_i а сумма этих давлений равна полному барометрическому давлению B смеси:

$$B = \sum p_i$$

В системе СИ давление измеряется в паскалях (Па), в системе МКГСС — в кгс/м² или в мм рт. ст.

• Отдельный газ в объеме смеси V , м^3 , имеет температуру смеси T , К , и находится под своим парциальным давлением p_i , Па . Характеристическое уравнение Клапейрона для 1 кг массы произвольного i -го газа в смеси имеет вид

$$p_i = \frac{m_i RT}{M_i V} = v_i \frac{RT}{V}$$

R - Универсальная газовая постоянная. В системе СИ $R=8.314 \times 10^3$ Дж/(моль \times К). В системе МКГСС при измерении давления в кгс/м² $R=848$ кгс \times м/(моль \times °С) или при измерении давления в мм рт. ст. $R = 62,37$ мм рт. ст. м³/(моль \times °С).

При расчете вентиляции влажный воздух удобно рассматривать как бинарную смесь (смесь двух газов), состоящую из водяных паров (газа с молярной массой $M_{\text{п}} = 18$ кг/моль) и сухого воздуха (условного однородного газа с молярной массой $M_{\text{св}} = 29$ кг/моль). Барометрическое давление B в этом случае равно сумме парциальных давлений сухого воздуха $p_{\text{св}}$ и водяного пара $p_{\text{п}}$:

$$B = p_{\text{св}} + p_{\text{п}}$$

Уравнение состояния удобно записать, пользуясь понятиями плотности сухого воздуха и водяного пара ρ_i , кг/м³, и их газовой постоянной R_i , Дж/(кг×К) [кгс×м/(кг×°С)]:

Для сухого воздуха плотность $\rho_{св}$, кг/м³ равна:

$$\rho_{св} = \frac{m_{св}}{V} = \frac{p_{св}}{R} \times \frac{M_{св}}{T}$$

Величина $p_{св}$ при атмосферном давлении (одна физическая атмосфера равна 101 325 Па, или 760 мм рт. ст., или 10 333 кгс/м²), когда $p_{св} = B$, составляет

$$\rho_{св} = \frac{B}{R} \times \frac{M_{св}}{T} = \frac{101325 \times 29}{8.314 \times 10^3} \cong \frac{353}{T}$$

В вентиляционной технике за стандартные условия приняты: давление – одна атмосфера, температура 20⁰С (293 К) и плотность $\rho_{\text{св}}$ в этом случае 1,2 кг/м³. При других условиях:

$$\rho_{\text{св}} = 1,2 \frac{293}{T} \frac{p_{\text{св}}}{101325} \cong 0.35 \times 10^{-2} \frac{p_{\text{св}}}{T}$$

Плотность водяного пара в воздухе $\rho_{\text{п}}$, кг/м³, по аналогии, при атмосферном давлении равна:

$$\rho_{\text{п}} \cong \frac{219}{T}$$

Эта величина изменяется прямо пропорционально давлению $p_{\text{п}}$ под которым находится водяной пар, и обратно пропорционально температуре T .

Плотность влажного воздуха ρ_B может быть определена как плотность сухого воздуха и водяного пара, находящихся в смеси под своими парциальными давлениями $\rho_{\Pi} + \rho_{CB} = B$

$$\begin{aligned}\rho_B &= \frac{\rho_{CB} M_{CB}}{RT} + \frac{\rho_{\Pi} M_{\Pi}}{RT} = \frac{B M_{CB}}{RT} - \frac{\rho_{\Pi}}{RT} (M_{CB} - M_{\Pi}) = \\ &= \rho_{CB} - \frac{\rho_{\Pi}}{RT} (M_{CB} - M_{\Pi})\end{aligned}$$

При измерении давления в Па плотность влажного воздуха ρ_B равна:

$$\rho_B = \frac{353}{T} - \frac{1.32 \times 10^{-3} \rho_{\Pi}}{T}$$

СЛЕДОВАТЕЛЬНО плотность влажного воздуха меньше плотности сухого воздуха.

В инженерных расчетах в тех случаях, когда качественное различие плотностей сухого и влажного воздуха не имеет значения, обычно считают, что $\rho_{\text{в}} = \rho_{\text{св}}$

При изменении свойств воздуха в вентиляционном процессе количество его сухой части остается неизменным, поэтому принято все показатели тепловлажностного состояния воздуха относить к *1 кг сухой части влажного воздуха*.

Влажность воздуха характеризуется массой содержащегося в нем водяного пара. Массу водяного пара в килограммах, приходящегося на 1 кг сухой части влажного воздуха, называют влагосодержанием воздуха d' кг/кг. Величина d' равна:.

$$d' = \frac{\rho_{\Pi}}{\rho_{\text{св}}} = \frac{R_{\text{св}} p_{\Pi}}{R_{\Pi} p_{\text{св}}} = \frac{M_{\Pi} p_{\Pi}}{M_{\text{св}} p_{\text{св}}} = 0,623 \frac{p_{\Pi}}{B - p_{\Pi}}$$

Значение d' обычно является малой дробью, поэтому в расчетах удобнее выразить влагосодержание d в граммах влаги на 1 кг сухой части влажного воздуха; тогда:

$$d = 1000d' = 623 \frac{p_{\Pi}}{B - p_{\Pi}}$$

Влагосодержание воздуха может быть различным, однако его максимальное значение при заданной температуре строго определено полным насыщением воздуха водяными парами. В связи с этим для характеристики степени увлажненности воздуха удобно пользоваться показателем *относительной влажности воздуха φ* . Величина φ равна отношению парциального давления $p_{\text{п}}$ водяного пара в ненасыщенном влажном воздухе к парциальному давлению $p_{\text{нп}}$ водяного пара в насыщенном влажном воздухе при одной и той же температуре:

$$\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{нп}}}$$

Величина ϕ показывает в процентах или в долях единицы степень насыщенности воздуха водяными парами по отношению к состоянию полного насыщения.

При относительной влажности 100% воздух полностью насыщен водяными парами, и его называют *насыщенным влажным воздухом*. Водяные пары в этом случае находятся в насыщенном состоянии. При $\phi < 100\%$ воздух содержит водяные пары в перегретом состоянии, и его называют *ненасыщенным влажным воздухом*.

Давление водяного пара, находящегося в насыщенном состоянии, зависит только от температуры. Его значение определяют экспериментальным путем и приводят в специальных таблицах.

•

Пользуясь понятием относительной влажности воздуха φ , влагосодержание воздуха можно определить как

$$d = 623 \frac{\varphi p_{\text{нп}}}{B - \varphi p_{\text{нп}}}$$

Теплоемкость сухого воздуха $c_{св}$ и теплоемкость водяного пара $c_{п}$ в обычном для вентиляционного процесса диапазоне температур можно считать постоянными и равными

$$c_{св} = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; c_{п} = 1,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Энтальпию сухого воздуха $l_{св}$ при $t=0^{\circ}\text{C}$ принимают равной нулю, и тогда энтальпия $l_{св}$ при произвольной температуре равна:

$$l_{св} = c_{св} \cdot t$$

Удельная теплота парообразования для воды при $t=0^{\circ}\text{C}$ равна $i=2500$ кДж/кг, и энтальпия пара $I_{\text{п}}$ во влажном воздухе при этой температуре равна i . Энтальпия водяного пара в воздухе $I_{\text{п}}$, кДж/кг при произвольной температуре t составляет:

$$I_{\text{п}} = 2500 + 1,8t$$

Энтальпия влажного воздуха l складывается из энтальпии сухой его части и энтальпии водяного пара. Энтальпия l , отнесенная к 1 кг сухой части влажного воздуха (кДж/кг) при произвольной температуре t и влагосодержании d равна:

$$l = 1,005t + (2500 + 1,8 t) d/1000$$

Если в результате конвективного теплообмена воздуху передается явное тепло, то он нагревается — его температура повышается. Энтальпия воздуха изменяется в результате изменения его температуры. При поступлении в воздух водяных паров с той же температурой (при подаче пара от внешних источников) ему передается в основном скрытое тепло парообразования. Энтальпия воздуха при этом также возрастает, но в результате изменения энтальпии водяного пара, находящегося в воздухе. Температура воздуха при этом остается неизменной.

Кроме характеристик тепловлажностного состояния, свойства воздуха, как было сказано ранее, определяются содержанием в нем газов и паров вредных веществ. Содержание этих вредных веществ в миллиграммах обычно относят к 1 м^3 воздуха. Их концентрацию обозначают буквой C с индексом, указывающим наименование вещества, и выражают в $\text{мг}/\text{м}^3$.

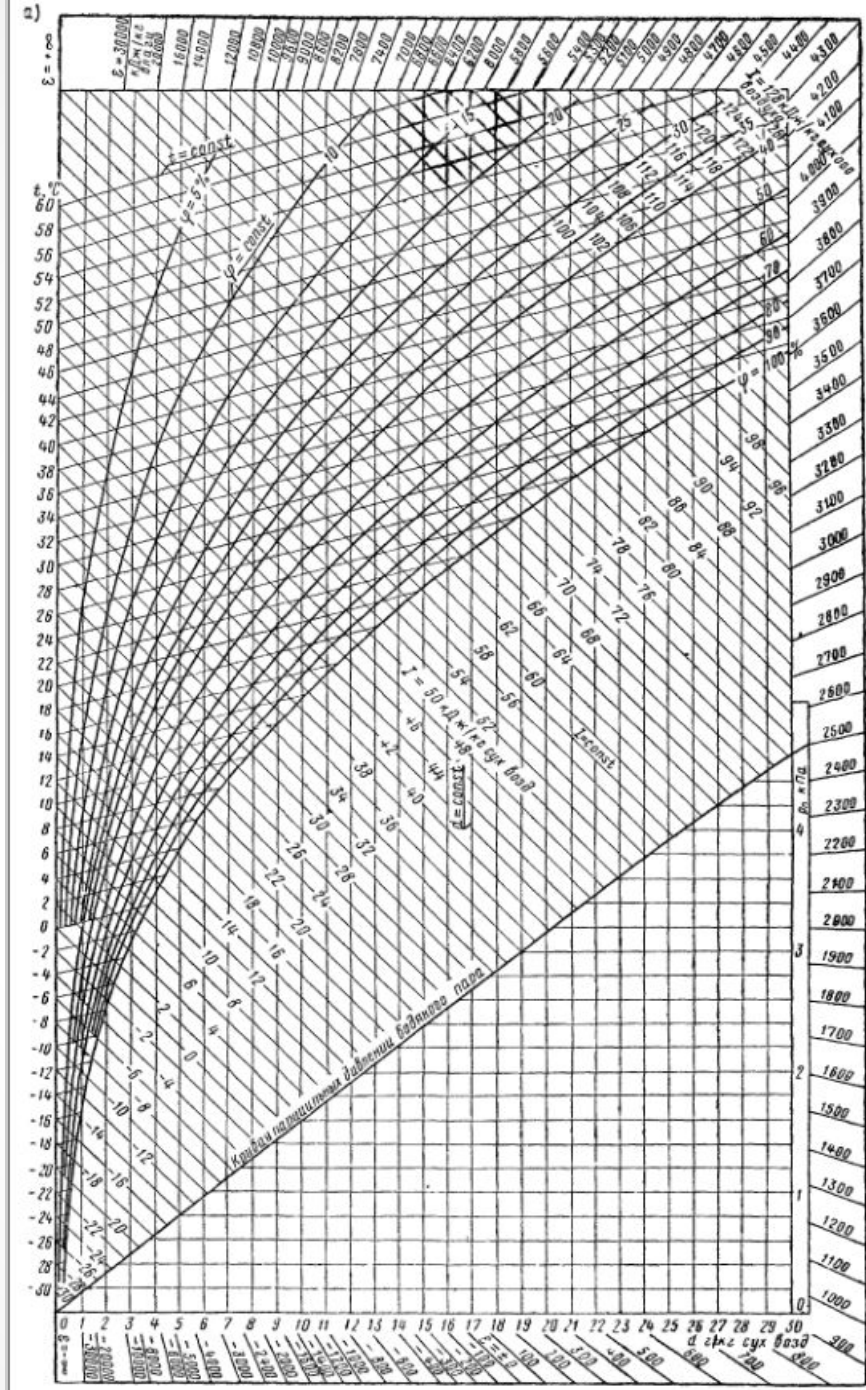
2.2 *I-d* диаграмма влажного воздуха

На основе зависимостей энтальпии, относительной влажности и влагосодержания проф. Я. К. Рамзиным в 1918 г. была составлена так называемая *I—d*-диаграмма, широко используемая в расчетах вентиляции, кондиционирования воздуха, осушки и других процессов, связанных с изменением состояния влажного воздуха. В *I-d*-диаграмме графически связаны все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха: I , d , t , φ , p_p . Диаграмма построена в косоугольной системе координат для расширения области ненасыщенного влажного воздуха, что делает диаграмму удобной для графических построений.

По оси ординат диаграммы отложены значения энтальпии l , кДж/кг сухой части влажного воздуха, по оси абсцисс, направленной под углом 135° к оси l , отложены значения влагосодержания d , г/кг сухой части влажного воздуха. Поле диаграммы разбито линиями постоянных значений энтальпии $l = \text{const}$ и влагосодержания $d = \text{const}$. На него нанесены также линии постоянных значений температуры $t = \text{const}$, положение которых может быть определено следующим образом.

На диаграмме изотермы не параллельны между собой и чем выше температура влажного воздуха, тем больше отклоняются вверх его изотермы.

В нижней части диаграммы расположена кривая, имеющая самостоятельную ось ординат. Она связывает влагосодержание d , г/кг, с упругостью водяного пара p_p кПа. Ось ординат этого графика является шкалой парциального давления водяного пара p_p .



Кроме линий постоянных значений l , d и t на поле диаграммы нанесены линии постоянных значений относительной влажности воздуха $\phi = \text{const}$. Для их построения прежде всего строится кривая, соответствующая $\phi = 100\%$. Зависимость давления водяного пара в насыщенном состоянии от температуры определена экспериментально и приводится в специальных таблицах термодинамического состояния влажного воздуха, составленных М. П. Вукаловичем. Пользуясь этими таблицами можно найти положение точек, соответствующих состоянию полного насыщения воздуха водяными парами. Геометрическое место этих точек дает положение кривой $\phi = 100\%$ на поле $l-d$ -диаграммы. Из выражения $d = 623 \frac{\phi p_{\text{нп}}}{B - \phi p_{\text{нп}}}$ можно построить остальные линии постоянных относительных влажностей.

Если положение изотерм и изоэнтальпий в диаграмме практически не зависит от барометрического давления B , то положение кривых $\phi = \text{const}$ меняется с изменением давления B . Диаграмма $l-d$, приведенная на рис. 1 построена для стандартного барометрического давления B , равного 101,325 кПа (одна физическая атмосфера).

Поле диаграммы разделено линией $\phi = 100\%$ на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного влажного воздуха. Линия $\phi = 100\%$ соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже этой линии — область перенасыщенного воздуха (воздуха в метастабильном состоянии, область тумана), которая используется при расчете воздушного холодильного цикла (в турбодетандере) и при применении воздуха в области тумана.

Каждая точка в поле диаграммы соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Положение точки определяется любыми двумя из пяти (l, d, t, ϕ, p_n) параметров состояния. Остальные три могут быть определены по диаграмме как производные. Диаграмма удобна не только для определения параметров состояния воздуха, но и для построений изменения его состояния при нагреве, охлаждении, увлажнении, осушке, смешении и сочетании этих процессов в произвольной последовательности.

Пользуясь $l-d$ - диаграммой, легко получить еще два очень важных параметра тепловлажностного состояния воздуха: температуру точки росы воздуха t_p и температуру мокрого термометра воздуха t_m .

Температура точки росы t_p равна температуре насыщенного водяными парами воздуха при данном влагосодержании. Для получения этой температуры нужно на $l-d$ -диаграмме от точки, соответствующей данному состоянию воздуха, опуститься по линии $d = \text{const}$ до пересечения с линией $\phi = 100\%$. Проходящая через точку пересечения линия $t = \text{const}$ будет соответствовать значению t_p .

Температура мокрого термометра равна температуре насыщенного водяными парами воздуха при данной энтальпии. В $l-d$ -диаграмме температуре t_m соответствует линия $t = \text{const}$, проходящая через точку пересечения линии $l = \text{const}$ заданного состояния воздуха с линией $\phi = 100\%$.

2.3 Изображение в $I-d$ - диаграмме процесса изменения тепловлажностного состояния влажного воздуха

См. Практические занятия

2.4 Изменение тепловлажностного состояния воздуха в вентиляционном процессе

В вентиляционном процессе постоянно совершается переход влажного воздуха из одного состояния в другое. Воздух, подаваемый в помещение приточной системой вентиляции, предварительно обрабатывается в специальных установках. Ему придаются определенные «кондиции» (параметры) путем нагрева или охлаждения, осушки или увлажнения, а также смешения воздушных масс различного состояния. Приточный воздух имеет параметры, отличные от параметров воздуха помещения, и благодаря этому обладает способностью, вытесняя воздух помещения и перемешиваясь с ним, ассимилировать избыточные тепло и влагу или подогреть и увлажнить воздух помещения. Все возможные изменения тепловлажностного состояния воздуха могут быть изображены и прослежены в I-d-диаграмме.

2.5 Процесс нагрева и охлаждения воздуха

Простейшим является процесс нагрева воздуха в результате контакта с сухой нагретой поверхностью, при котором он получает только явное конвективное тепло. При этом влагосодержание воздуха остается неизменным, поэтому в $t-d$ диаграмме процесс нагрева прослеживается снизу вверх по линиям $d = \text{const}$. Чем больше тепла передается воздуху, тем больше он нагревается и тем выше по линии $d = \text{const}$ будет расположена точка, соответствующая состоянию нагретого воздуха.

В процессе охлаждения воздуха в результате контакта с сухой холодной поверхностью он отдает только явное конвективное тепло. В $l-d$ -диаграмме этот процесс прослеживается сверху вниз по линиям $d = \text{const}$, после достижения линии $\varphi = 100\%$, достигается точка росы и пар начинает конденсироваться, охлаждение пойдет по линии $\varphi = 100\% = \text{const}$ влево вниз на диаграмме.

Процессы нагрева и охлаждения являются изовлажностными. Они протекают при $d = \text{const}$ и могут быть рассчитаны по приближенной формуле:

$$\frac{\Delta t}{\Delta I} \approx 0,98$$

2.6 Процесс адиабатического увлажнения воздуха

Тонкий слой воды или ее мелкие капли при контакте с воздухом приобретают температуру, равную температуре мокрого термометра. При контакте воздуха с водой, имеющей такую температуру, происходит процесс адиабатического увлажнения воздуха. В этом процессе энтальпия воздуха остается практически неизменной, и в $I-d$ - диаграмме он прослеживается по линиям $I = \text{const}$ (направо вниз). Предельному состоянию воздуха в этом процессе при его полном насыщении водяными парами соответствует точка пересечения луча процесса с кривой $\phi = 100\%$.

Процессы адиабатического увлажнения, протекающие по линиям $l = \text{const}$, могут быть рассчитаны по приближенной формуле

$$\frac{\Delta t}{\Delta d} \approx 2,45$$

2.7 Процесс изотермического увлажнения воздуха

Если в воздух подавать водяной пар, имеющий температуру воздуха по сухому термометру, то он будет увлажняться без изменения температуры. Процесс изотермического увлажнения воздуха паром в t - d -диаграмме прослеживается по линиям $t = \text{const}$. При подаче пара в воздух, его состояние изменяется по линии $t = \text{const}$ (слева направо). После увлажнения воздуха его состоянию может соответствовать произвольная точка на этой изотерме. Предельному состоянию воздуха в этом процессе соответствует точка пересечения луча процесса с кривой $\phi = 100\%$.

В вентиляционной практике используют процесс увлажнения воздуха острым паром. Пар обычно имеет температуру более 100°C , т. е. значительно отличающуюся от температуры воздуха. Однако в связи с тем, что явная энтальпия пара, ассимилируемого воздухом, незначительна, луч процесса идет с небольшим отклонением вверх от изотермы. Изменение энтальпии воздуха в основном определяется скрытым теплом водяного пара, температура воздуха при этом повышается немного.

Процессы изотермического увлажнения, протекающие по линиям $t = \text{const}$, можно рассчитывать по приближенной формуле:

$$\frac{\Delta I}{\Delta d} \approx 2,53$$

2.8 Политропический процесс тепло- и влагообмена воздуха

Изменение состояния воздуха в вентиляционном процессе нередко связано с внесением в воздух или отнятием от него одновременно тепла и влаги. Таково изменение состояния воздуха в помещениях, где одновременно выделяются и явное тепло и водяные пары, в специальных установках, где воздух одновременно охлаждается и осушается, и во многих других случаях.

При произвольном соотношении количеств тепла и влаги, ассимилируемых воздухом, изменение его состояния можно изобразить в $I-d$ -диаграмме линиями, имеющими различные направления. Если потоку воздуха, содержащего сухую часть в количестве G , кг/ч, передать Q' , кДж/ч, тепла и W , кг/ч, влаги, то его энтальпия изменится на ΔI , кДж/кг (ккал/кг), так, что

$$Q' = G \cdot \Delta I,$$

а его влагосодержание изменится на $\Delta d'$ кг/кг, так, что

$$W = G \Delta d'$$

Отношение правых и левых частей уравнений есть показатель направления луча процесса изменения состояния воздуха в I — d -диаграмме — угловой коэффициент ε :

$$\varepsilon = \frac{Q'}{W} = \frac{\Delta I}{\Delta d'}$$

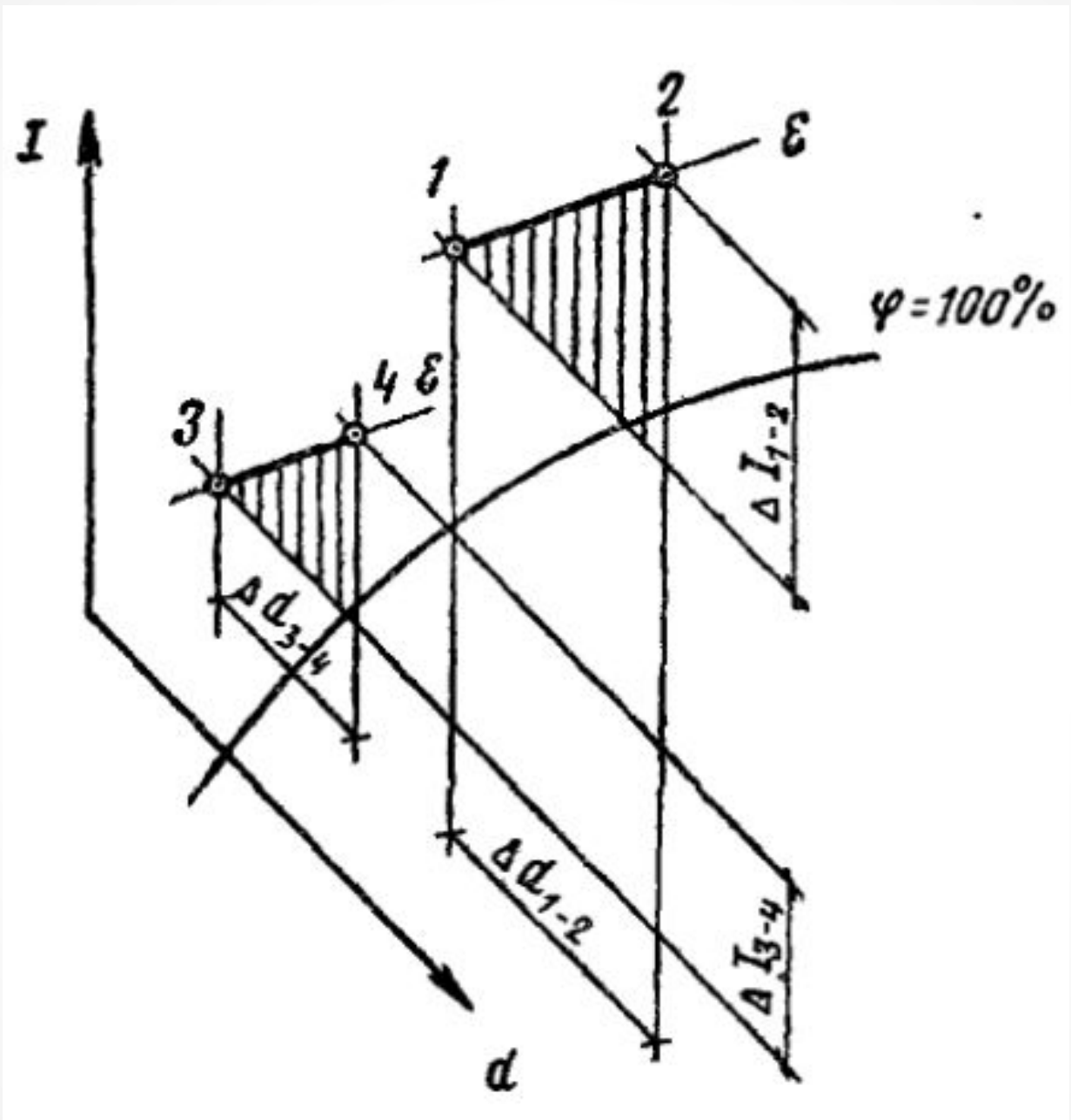
ΔI и Δd соответствуют приращениям ординаты и абсциссы при изображении процесса в I — d -диаграмме. Данное отношение определяет угол наклона луча процесса изменения состояния воздуха.

Если в I — d -диаграмме нанести два параллельных между собой отрезка 1—2 и 3—4, то, как это видно из подобия треугольников на рисунке для них будут одинаковыми отношения и показатель направления луча процесса:

$$\frac{\Delta I_{12}}{\Delta d_{12}} = \frac{\Delta I_{34}}{\Delta d_{34}}$$

Вывод: одному и тому же углу наклона прямой в $l-d$ -диаграмме соответствуют процессы изменения тепловлажностного состояния воздуха с определенным соотношением ассимилированных количеств тепла и влаги.

Изменение состояния воздуха в помещениях, а также при его обработке в специальных устройствах сводится к изменению его энтальпии, влагосодержания и других параметров. Зная начальное состояние и количество G воздуха, а также полные тепlopоступления Q и влагопоступления W в воздух, можно, пользуясь угловым коэффициентом ε и $l-d$ -диаграммой, определить конечные параметры воздуха. В другом случае неизвестными при прочих известных данных могут быть количество воздуха, полное количество тепла, количество влаги и т.д. Поли-тропический процесс с произвольным угловым коэффициентом ε включает все возможные процессы изменения тепловлажностного состояния воздуха.



Изовлажностный процесс нагрева соответствует

$$\varepsilon = \frac{+\Delta I}{0} = +\infty$$

Изовлажностный процесс охлаждения соответствует

$$\varepsilon = \frac{-\Delta I}{0} = -\infty$$

Процесс адиабатического увлажнения соответствует

$$\varepsilon = \frac{0}{+\Delta d} = 0$$

Для процесса изотермического увлажнения $\varepsilon = 2,53$

Политропический процесс при произвольном значении ε приблизительно можно рассчитать,

пользуясь формулой: $\frac{\Delta t}{\Delta I} = 0,98 - \frac{2,45}{\varepsilon}$

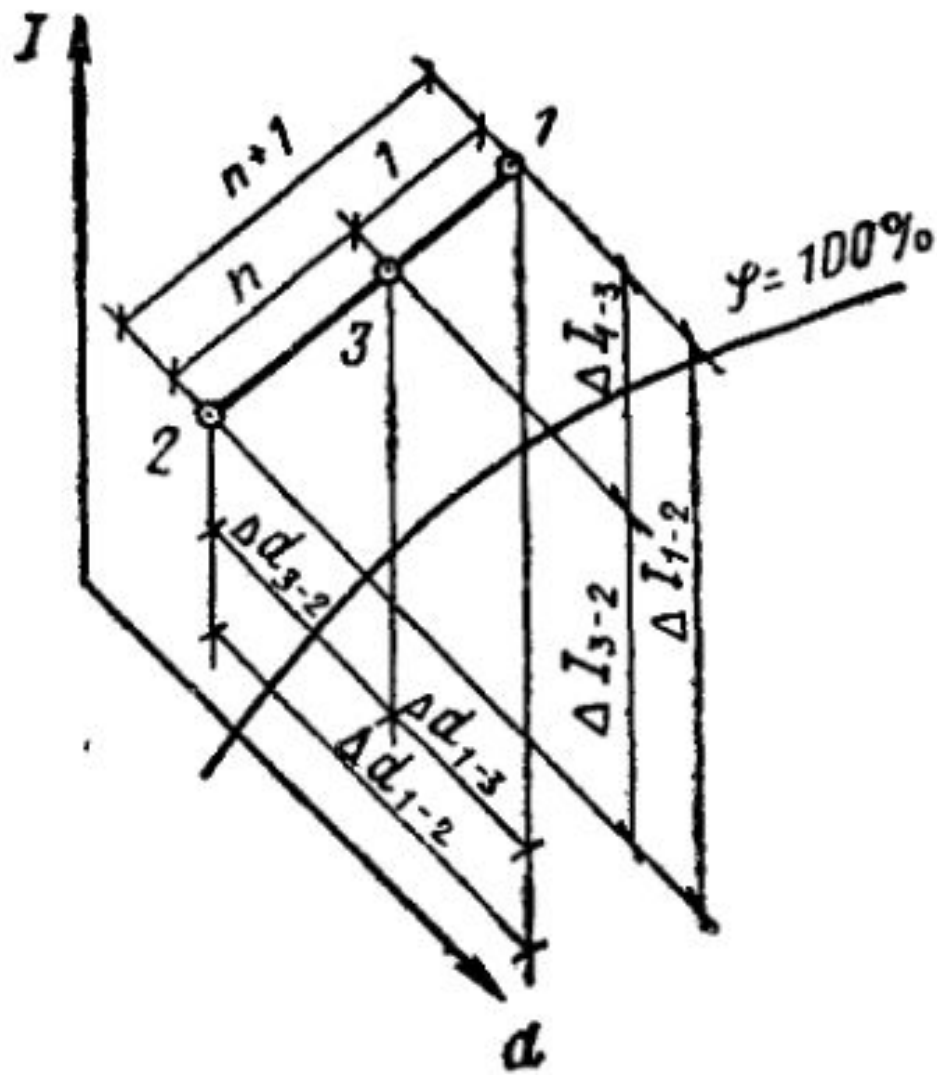
2.9 Процесс смешения воздуха

Наружный воздух, подаваемый в помещение, в ряде случаев предварительно смешивают с внутренним воздухом (рециркуляция). Возможны и другие случаи, связанные с перемешиванием масс воздуха разного состояния. Процесс смешения воздуха в $I-d$ -диаграмме изображается прямой, соединяющей точки, соответствующие состоянию смешиваемых масс воздуха. Точка смеси всегда располагается на этой прямой и делит ее на отрезки, длины которых обратно пропорциональны смешиваемым количествам воздуха.

Если смешать воздух состояния 1 в количестве G с воздухом состояния 2 в количестве nG , то точка смеси 3 разделит отрезок 1—2 или его проекции ΔI_{1-2} и Δd_{1-2} на части 1—3, 3—2 или $\Delta I_{1-3}, \Delta I_{3-2}$ и $\Delta d_{1-3}, \Delta d_{3-2}$ (см. рисунок), отношение длин которых равно:

$$\frac{1-3}{3-2} = \frac{\Delta I_{1-3}}{\Delta I_{3-2}} = \frac{\Delta d_{1-3}}{\Delta d_{3-2}} = \frac{G}{nG} = \frac{1}{n}$$

Таким образом, чтобы найти точку смеси, нужно отрезок 1—2 или его проекции разделить на $n+1$ часть и отложить от точки 1 одну часть, оставив n частей до точки 2. Такое построение определит положение точки смеси 3.



2.10 Изображение процесса тепло- и влагообмена воздуха с водой в $I-d$ -диаграмме

В целях увлажнения или осушки, а часто в целях охлаждения или нагрева воздуха его вводят в контакт с водой. Для этого его пропускают через камеру орошения, в которой разбрызгивается вода, или продувают через пористые слои либо ребренные поверхности, которые орошаются водой.

Обычно предполагают, что тонкий слой воздуха на поверхности воды полностью насыщен водяными парами, а его температура равна температуре воды. Состояние воздуха в этом слое можно определить по температуре воды, считая его относительную влажность $\phi=100\%$. При таком предположении процесс тепло- и влагообмена воздуха с водой рассматривают как процесс смешения основного потока воздуха с тонким слоем насыщенного воздуха, контактирующим с водой. Параметры смеси на прямой, соединяющей точку, соответствующую состоянию воздуха, с точкой, определенной температурой воды на линии $\phi=100\%$, зависят от площади поверхности контакта, его продолжительности, а также от параметров воздуха и воды.

В расчетах учитывают так называемый коэффициент орошения μ , равный количеству разбрызгиваемой воды, кг, приходящемуся на 1 кг воздуха, а также направление луча процесса и конструктивные особенности камеры. Обычно принимают, что точка смеси, определяющая параметры воздуха после орошения, устойчиво может находиться на линии $\Phi=90 \dots 95\%$, и из этого условия рассчитывают режим орошения.

Воздух, обмениваясь с водой теплом и влагой, претерпевает различные изменения. Можно рассмотреть несколько характерных случаев изменения состояния воздуха при контакте его с водой, имеющей разную, но неизменную во времени температуру.

Точка А - начальное состояние воздуха в $l-d$ -диаграмме. При температуре воды $t_{\text{ВОД}} > t_{\text{А}}$ (точка 1) будет происходить увлажнение и нагрев воздуха. Испарение воды осуществляется целиком за счет ее собственной энтальпии. При $t_{\text{ВОД}} = t_{\text{А}}$ (точка 2) воздух увлажняется, не изменяя своей температуры. На испарение расходуется тепло воды. При $t_{\text{МА}} < t_{\text{ВОД}} > t_{\text{А}}$ (точка 3) происходит увлажнение и некоторое охлаждение воздуха. Тепло на испарение поступает от воздуха и частично от воды. Если вода имеет температуру мокрого термометра $t_{\text{МА}} = t_{\text{ВОД}}$ (точка 4), происходит адиабатическое увлажнение воздуха. Тепло для испарения отнимается только от воздуха, но к нему же возвращается в виде энтальпии водяного пара. При $t_{\text{РА}} < t_{\text{ВОД}} > t_{\text{МА}}$ (точка 5) воздух несколько увлажняется и заметно охлаждается. Тепло воздуха идет на испарение воды. При $t_{\text{РА}} = t_{\text{ВОД}}$ (точка 6) происходит охлаждение воздуха при неизменном влагосодержании (сухое охлаждение). При $t_{\text{РА}} > t_{\text{ВОД}}$ (точка 7) воздух интенсивно охлаждается и осушается. Вода охлаждает воздух и отбирает тепло, выделившееся при конденсации водяных паров на ее поверхности.

Фактически процесс изменения состояния воздуха по мере его прохождения через дождевое пространство камеры орошения идет в $l-d$ -диаграмме не по прямой, а по сложной линии. Если развитие этого процесса во времени разбить на конечные отрезки, то можно проследить его вероятный характер.

