

Тема №5. Водяной пар и его свойства.

■ 5.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- Парообразованием называется процесс превращения вещества из жидкого состояния в газообразное.
- Испарением называется парообразование, которое происходит только с поверхности жидкости. С увеличением температуры интенсивность испарения возрастает.
- Кипением называется такой процесс превращения жидкости в пар, который происходит не только с поверхности жидкости, но и внутри нее, т.е. это процесс парообразования во всей массе жидкости. Кипение происходит при определенной температуре, зависящей от рода жидкости и от ее давления. Процесс кипения осуществляется при подводе к жидкости теплоты при неизменном давлении.
- Конденсация – это процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое. Процесс конденсации происходит при отводе от пара теплоты при неизменном давлении. Конденсация, так же как и процесс кипения, происходит при постоянной температуре.

- Сублимацией (возгонкой) называется процесс перехода вещества из твердого состояния в газообразное. Обратный процесс перехода газа в твердое состояние называется десублимацией.
- При парообразовании в неограниченном пространстве вся жидкость может превратиться в пар. Если процесс парообразования происходит в закрытой емкости; то между процессами парообразования и обратного перехода пара в жидкость может наступить равновесие. Пар в таком состоянии принимает максимальную плотность при данной температуре и давлении и называется насыщенным. Следовательно, насыщенный пар это пар, находящийся в равновесном состоянии с жидкостью, из которой он получается. При изменении температуры жидкости равновесие нарушается, что приводит к соответствующему изменению плотности и давления насыщенного пара.
- При испарении всей жидкости получается сухой насыщенный пар, который не содержит частиц жидкой фазы. Температура и объем сухого насыщенного пара являются функциями давления, поэтому его состояние определяется лишь одним параметром – давлением или температурой.
- Насыщенный пар, который содержит мельчайшие капельки жидкости, называется влажным насыщенным паром.

- Отношение массы сухого насыщенного пара m_c , содержащегося во влажном паре, к общей массе (пар + жидкость) влажного насыщенного пара $m_c + m_{ж}$ называется степенью сухости пара (паросодержанием) x , т.е.

$$x = \frac{m_c}{m_c + m_{ж}} = \frac{m_c}{m_B},$$

где $m_B = m_c + m_{ж}$ – масса влажного пара; $m_{ж}$ – масса жидкости во влажном паре.

- Таким образом, степень сухости определяет долю сухого насыщенного пара во влажном паре.
- Массовая доля жидкости во влажном паре называется степенью влажности пара и обозначается $(1-x)$.
- Степень сухости x может меняться в пределах от нуля до единицы. Например, для кипящей жидкости при температуре насыщения (температуре кипения при данном давлении) $x=0$, а для сухого насыщенного пара $x=1$.
- Если к сухому насыщенному пару подводить теплоту, то температура его будет возрастать и пар становится перегретым. Разность между температурой t_p перегретого пара и температурой t_s сухого насыщенного пара называется степенью перегрева. Перегретый пар является ненасыщенным. При данном давлении его плотность меньше плотности сухого насыщенного пара, а удельный объем больше. Чем выше степень перегрева, тем больше по своим свойствам перегретый пар приближается к газу.

5.2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ФАЗОВАЯ pT – ДИАГРАММА.

УРАВНЕНИЕ КЛАПЕЙРОНА – КЛАУЗИУСА

- Вещество в зависимости от температуры и давления может находиться в твердой, жидкой и газообразной фазе.
- Фазовым переходом называется процесс, сопровождающийся затратой теплоты и изменением объема, в котором происходит изменение агрегатного состояния вещества. Переход из одного агрегатного состояния в другое удобно рассматривать на pT – диаграмме (рис.5.1).
- Если в качестве независимого параметра взять температуру, то на pT – диаграмме будут иметь место три характерные линии

$$p = f_1(T); \quad p = f_2(T); \quad p = f_3(T).$$

- Кривая, на которой в зависимости от температуры и давления происходит переход из жидкого состояния в газообразное, заканчивается в точке K , называемой критической точкой. В этой точке исчезает физическое различие между жидким и газообразным состоянием вещества. Обоснование наличия критической точки наиболее наглядно можно проследить на pV – диаграмме водяного пара (рис.5.2.).
- Увеличение давления приводит к увеличению температуры кипения. При этом объем V'' газообразной фазы уменьшается, а объем жидкой фазы V' возрастает. При некотором давлении ($p=p_{кр}=22,12$ МПа – для воды) эти два объема оказываются одинаковыми, что и наблюдается в критической точке, которой соответствует определенная для каждого вещества критическая температура (для воды $T_{кр} = 374,16$ °С). Следовательно, в критической точке сухой пар имеет такую же плотность, что и кипящая вода и, таким образом, исчезает различие между жидкой и паровой фазами.
- Все три кривые равновесного состояния различных фаз вещества пересекаются в некоторой определенной для каждого вещества точке, называемой тройной точкой (точка A на рис.5.1). В этой точке в термодинамическом равновесии находятся три различные фазы вещества – твердая, жидкая и газообразная, т.е. пропадает различие между этими тремя фазами.

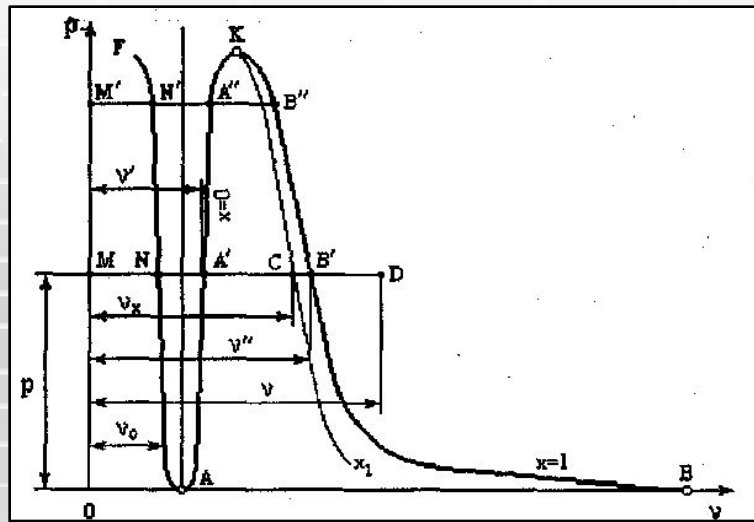


Рис. 5.2

- Отметим некоторые особенности фазовых переходов.
Теплоемкость c_p в процессе фазового перехода равна бесконечности

$$c_p = \frac{dq}{dT} = \infty, \text{ так как } dq \neq 0, \quad dT = 0.$$

- Коэффициенты изобарного (объемного) расширения α (2.12) и изотермического сжатия γ равны бесконечности

$$\alpha = \frac{1}{v_0} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = \infty; \quad \gamma = \frac{1}{v_0} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T = \infty$$

- так как $dv \neq 0; dT = 0; dp = 0.$

- *Значительный интерес представляет уравнение Клапейрона – Клаузиуса, связывающее термические величины (температуру, давление, удельный объем) с калорическими (теплотой фазового перехода). Это уравнение имеет вид*

$$q = T(v'' - v') \frac{dp}{dT} ,$$

- *где q – теплота фазового перехода; v' – удельный объем жидкости или твердого тела; v'' – удельный объем пара; dp/dT – производная от давления по температуре, взятая на кривой фазового перехода.*

5.3. pV – ДИАГРАММА ВОДЯНОГО ПАРА

- На рис. 5.2. представлена фазовая pV – диаграмма, которая представляет собой график зависимости удельного объема воды и водяного пара от давления.
- Кривая AF представляет зависимость удельного объема воды от давления при температуре $t = 0^\circ\text{C}$, т.е. это есть изотерма воды при нулевой температуре. Область, заключенная между этой изотермой и осью ординат, является областью равновесного сосуществования жидкой и твердой фаз. Кривая AF почти параллельна оси ординат, так как вода практически несжимаемая жидкость. Поэтому удельный объем v_0 воды в процессе сжатия изменяется незначительно.
- При нагреве воды при некотором постоянном давлении p удельный объем будет увеличиваться и при достижении температуры кипения в точке A' удельный объем v' жидкости становится максимальным. С увеличением давления температура кипения возрастает и удельный объем v' в точке A'' будет больше, чем в точке A' .
- Зависимость удельного объема v' от давления на pV – диаграмме изображается кривой AK , называемой пограничной кривой жидкости. Всюду на этой кривой степень сухости $x=0$.

- *Дальнейший подвод к жидкости теплоты при неизменном давлении приводит к процессу парообразования (линия $A'B'$), который заканчивается в точке B' . Пар в этой точке будет сухим, насыщенным с удельным объемом v'' . Процесс $A'B'$ является одновременно изобарным и изотермическим.*
- *Зависимость удельного объема v'' от давления представлена кривой KB , которая называется пограничной кривой пара. На этой кривой степень сухости $x=1$.*
- *Если в состоянии, характеризуемом точкой B' (или B'' при большем давлении), к пару подводить теплоту, то его температура и удельный объем будут увеличиваться. Линия $B'D$ представляет процесс перегрева пара.*
- *Таким образом, кривые AK и KB делят область диаграммы на три части. Левее кривой AK расположена область жидкости. Между кривыми AK и KB расположена область двухфазной системы, включающей пар и жидкость (пароводяная смесь). Правее кривой KB и выше точки K расположена область перегретого пара.*
- *Точка K называется критической точкой. Параметры критической точки для воды: $t_k = 374,16^\circ\text{C}$; $p_k = 22,12 \text{ МПа}$; $v_k = 0,0032 \text{ м}^3/\text{кг}$; $i_k = 2095,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.*

- Точка А характеризует состояние кипящей жидкости в тройной точке. Температура кипения воды в этой точке $t_0 = 0,001^\circ\text{C} \approx 0^\circ\text{C}$. Если в состоянии, характеризуемом тройной точкой, к жидкости подводить теплоту, то процесс кипения будет происходить по изобаре являющейся одновременно нулевой изотермой, которая при выбранном масштабе изображения кривых практически совпадает с осью абсцисс.
- Между кривыми $x=0$ и $x=1$ расположены кривые промежуточных степеней сухости. Все они исходят из точки К. Одна из таких кривых со степенью сухости $x=x_1$ приведена на рис.5.2.
- Удельное количество работы, полученной в процессе или цикле, на $p-v$ – диаграмме изображается соответствующей площадью под кривой процесса или внутри цикла.

5.4. Ts – ДИАГРАММА ВОДЯНОГО ПАРА

- Процесс нагрева воды от $0,01^\circ\text{C} = 273,16\text{ K}$ до температуры кипения при давлении $p_1 = \text{const}$ характеризуется линией AaA_1 . Линия A_1B_1 является процессом парообразования и линия B_1D_1 – процессом перегрева пара (рис. 5.3.). Если нанести на Ts – диаграмме ряд таких изобарных процессов и соединить точки, в которых начинается и заканчивается процесс кипения, то получим две пограничные кривые AK – кривая начала кипения ($x=0$) и KB – кривая окончания кипения (кривая сухого пара $x=1$), которые сходятся в критической точке K .

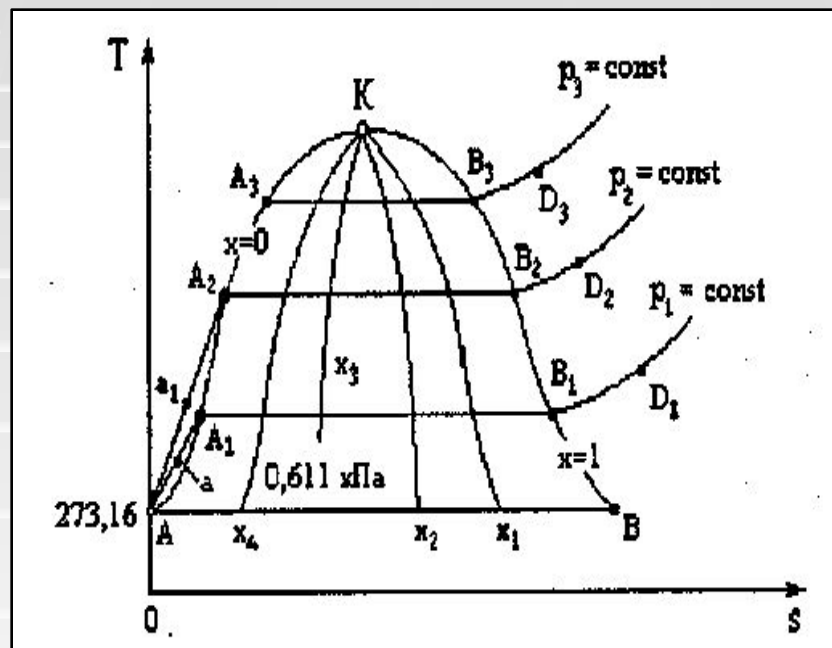


Рис. 5.3

- Точка А здесь является тройной точкой, которой соответствует изобара $p_0 = 0,611$ кПа и изотерма $t_0 = 0,01^\circ\text{C} = 273,16$ К.
- Пограничные кривые АК и КВ делят область диаграммы на три части. Левее кривой АК расположена область жидкости. Между кривыми АК и ВК – область влажного пара (пароводяной смеси). Правее кривой КВ и выше точки К находится область перегретого пара. Кривая АК берет свое начало в тройной точке А, расположенной на оси ординат, т.е. считается, что удельная энтропия при температуре $273,16^\circ\text{C}$ близка к нулю.
- Изобары нагрева воды АаА1, Аа1А2 до температуры кипения соответственно при давлениях p_1 и p_2 даны как для нормальной жидкости, т.е. без учета аномальности воды, имеющей максимальную плотность при температуре $t = 4^\circ\text{C}$. Это допущение незначительно влияет на точность при расчетах. Давлению в тройной точке $p = 0,611$ кПа соответствует изобара АВ.
- сухости x_1, x_2, x_3, x_4 . Все эти кривые сходятся в критической точке К, где исчезает различие между жидкой и паровой фазами, т.е. сухой пар и кипящая вода имеют одинаковую плотность.

- Удельное количество теплоты $q = \int Tds$, сообщаемое рабочему телу, на Ts – диаграмме изображается площадью под кривой процесс. Удельная работа обратимого цикла $l = q_1 - q_2$ также может быть найдена в виде площади цикла. Таким образом, с помощью Ts – диаграммы достаточно просто можно найти термический КПД $\eta_t = (q_1 - q_2) / q_1$ обратимого цикла.
- Удобство Ts – диаграммы в том, что она позволяет проследить изменение температуры рабочего тела и находить количество теплоты, участвующее в процессе. К неудобствам диаграммы следует отнести необходимость измерения соответствующих площадей. Ts – диаграмма широко применяется при исследовании паросиловых и холодильных установок, обеспечивая наиболее наглядное изображение процессов.
- Удобство Ts – диаграммы в том, что она позволяет проследить изменение температуры рабочего тела и находить количество теплоты, участвующее в процессе. К неудобствам диаграммы следует отнести необходимость измерения соответствующих площадей. Ts – диаграмма широко применяется при исследовании паросиловых и холодильных установок, обеспечивая наиболее наглядное изображение процессов.

5.5. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

- Ввиду практической несжимаемости воды можно допустить, что удельный объем воды при 0°C не зависит от давления и равен $v'_0 = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$. При температуре 0°C и соответствующем давлении насыщения $p = 0,000611 \text{ МПа}$ внутренняя энергия, энтальпия и энтропия условно принимаются равными нулю.

$$u'_0 = 0, \quad i'_0 = 0, \quad s'_0 = 0 .$$

- Количество теплоты, которое требуется для нагрева воды от 0 оС до температуры кипения при постоянном давлении, определяется по формуле $q' = c_p (t_s - t_0)$ (5.1) или при $t_0=0$ $q' = c_p t'_s$

- где c_p – средняя теплоемкость воды в интервале температур от 0 оС до температуры кипения t_s при данном давлении ($c_p = 4,1865 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$).

- Первый закон термодинамики для изобарного процесса подогрева воды имеет вид $q' = u' - u'_0 + l'$, (5.2)

- где u' – внутренняя энергия воды при температуре кипения; $u'_0 = 0$; l' – работа расширения воды при ее нагреве, определяемая по формуле $l' = p(v' - v'_0)$,

где v'_0 – удельный объем воды при температуре 0°C ; v' – удельный объем при температуре кипения.

- Так как удельный объем воды при ее нагреве изменяется незначительно (см. рис.5.2), то можно принять $l' \approx 0$. Тогда из (5.2.) получим $q' \approx u'$. Количество теплоты, необходимое для нагрева воды до температуры кипения, может быть найдено также по формуле $q' = i' - i'_0$, или $i'_0 = 0$, так как $q' = i'_0$, где i' – удельная энтальпия воды при температуре кипения. На графике рис. 5.4 i' определяется площадью под кривой процесса 1–2.

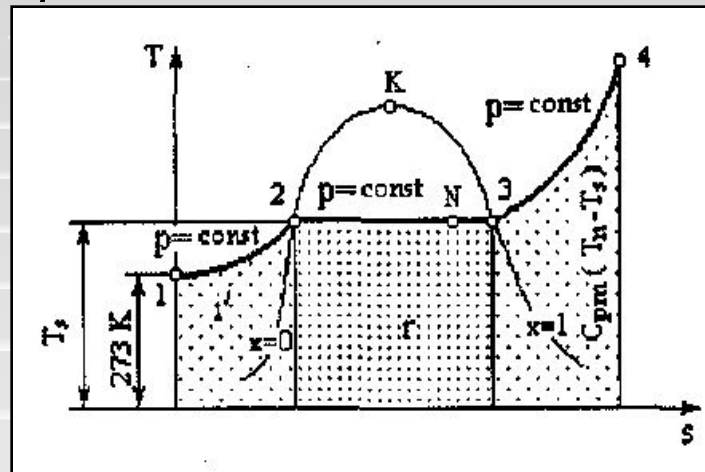


Рис. 5.4

- Увеличение энтропии жидкости при ее нагреве от 0°C до температуры кипения находится по формуле $\Delta s = s' - s'_0 = s'$, (5.3)
- где $s'_0 = 0$; s' – энтропия воды при температуре кипения.
- Согласно второму закону термодинамики для обратимых процессов

$$ds = \frac{dq}{T}$$

- Так как $dq = c_p dT$, то $ds = c_p \frac{dT}{T}$, (5.4) где $c_p = 4,1865$ кДж/(кг·К).
- Учитывая (6.4),
- формула (6.3) будет $s' = \int_{273,16}^{T_s} c_p \frac{dT}{T} = c_p \ln \frac{T_s}{273,16} = 4,1865 \ln \frac{T_s}{273,16}$.

■ Количество теплоты, затрачиваемое на превращение в пар 1 кг воды, нагретой до температуры кипения, называется удельной теплотой парообразования и обозначается r . Теплота парообразования зависит от температуры и давления и с их возрастанием она уменьшается, обращаясь в ноль в критической точке.

■ По первому закону термодинамики $r = u'' - u' + l''$, где u'' – внутренняя энергия сухого насыщенного пара; $l'' = p(v'' - v')$ – работа расширения в процессе парообразования (работа против внешних сил).

■ Разность энергий $u'' - u'$ называется внутренней теплотой парообразования. Таким образом, теплота парообразования затрачивается на работу против внутренних и внешних сил.

■ Так как процесс парообразования идет при постоянном давлении, то $r = l'' - l'$

■

где l'' – работа против внешних сил

- Теплота парообразования r в Ts – координатах определяется площадью под линией процесса 2–3 (рис.6.5).
- Удельная энтропия сухого насыщенного пара определяется по

- формуле $s'' - s' = \frac{r}{T_s}$, или $s'' = s' + \frac{r}{T_s}$.

- Количество теплоты, затрачиваемое для перевода сухого насыщенного пара ($ps = \text{const}$) в перегретый с температурой T_{Π} , называется теплотой перегрева, определяемой по формуле

$$q_{\Pi} = \int_{T_s}^{T_{\Pi}} c_p dT, \text{ или } q_{\Pi} = c_{pm} (T_{\Pi} - T_s),$$

- где c_{pm} – средняя массовая изобарная теплоемкость перегретого пара. Величина q_{Π} в Ts – диаграмме определяется площадью под кривой 3–4 (рис. 5.4). Формула для энтальпии перегретого пара

будет $i_{\Pi} = i'' + q_{\Pi} = i' + r + c_{pm} (T_{\Pi} - T_s)$.

- Эта величина называется *полной теплотой перегретого пара*.
- Теплоту перегрева q_p можно также найти по первому закону термодинамики $q_{\Pi} = u_{\Pi} - u'' + l$, где $u_{\Pi} - u''$ – изменение внутренней энергии в процессе перегрева; $l = p(v_{\Pi} - v'')$ – работа расширения в изобарном процессе расширения пара.
- Изменение энтропии в процессе перегрева пара будет

$$s_{\Pi} - s'' = \int_{T_s}^{T_{\Pi}} \frac{dq_{\Pi}}{T} = \int_{T_s}^{T_{\Pi}} \frac{c_p dT}{T} = c_{pm} \ln \frac{T_{\Pi}}{T_s} .$$

- Отсюда, учитывая, что $s'' = s' + \frac{r}{T_s} = 4,1865 \ln \frac{T_s}{273,16} + \frac{r}{T_s}$,

получим
$$s_n = 4,1865 \ln \frac{T_s}{273,16} + \frac{r}{T_s} + c_{pm} \ln \frac{T_n}{T_s} .$$

- Все рассмотренные выше параметры влажного, сухого насыщенного и перегретого паров в зависимости от температуры и давления приводятся в специальных таблицах водяного пара.

5.6. ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ. АБСОЛЮТНАЯ ВЛАЖНОСТЬ, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

ВОЗДУХА

- В атмосферном воздухе всегда есть влага в виде водяного пара. Смесь сухого воздуха с водяным паром называется влажным воздухом. Водяной пар в воздухе может быть в насыщенном или перегретом состоянии. Соответственно этому влажный воздух бывает:
- 1. Насыщенным влажным воздухом – смесь сухого воздуха с насыщенным водяным паром.
- 2. Ненасыщенным влажным воздухом – смесь сухого воздуха с перегретым водяным паром.
- Температура, до которой нужно охладить ненасыщенный влажный воздух, чтобы он стал насыщенным, называется температурой точки росы. При дальнейшем охлаждении влажного воздуха происходит конденсация пара.
- Абсолютной влажностью называется масса пара, содержащегося в 1 м³ влажного воздуха. Так как влажный воздух представляет собой газовую смесь, то объем пара в смеси равен объему всей смеси. Следовательно, абсолютная влажность может быть выражена через плотность пара ρ_n в смеси при своем парциальном давлении p_n

$$\rho_n = \frac{M_n}{V_n} = \frac{M_n}{V_{см}}, \text{ где } M_n \text{ – масса пара.}$$

- Для нахождения состояния влажного воздуха в части его насыщенности влагой пользуются понятием влагосодержания. Под влагосодержанием d понимается величина отношения массы пара, содержащегося во влажном воздухе, к массе сухого воздуха

$$d = \frac{M_n}{M_v} = \frac{\rho_n}{\rho_v}, \text{ кг/кг или г/кг.}$$

- Выведем формулу для определения влагосодержания через парциальное давление пара p_n и давление влажного воздуха p . Для этого воспользуемся уравнениями состояния для сухого воздуха и водяного пара, содержащихся в V м³ влажного воздуха.

$$p_v V = M_v R_v T;$$

$$p_n V = M_n R_n T.$$

Разделив почленно первое уравнение на второе, получим

$$\frac{p_v}{p_n} = \frac{M_v R_v}{M_n R_n} = \frac{M_v 287,04}{M_n 461,6} = \frac{0,622}{d}.$$

- Учитывая, что $p_v = p - p_n$, находим $d = 0,622 \frac{p_n}{p - p_n}$. (a)

- Если парциальное давление водяного пара равно давлению

- насыщения $p_n = p'_n$, то. $d' = 0,622 \frac{p'_n}{p - p'_n}$

- где d' – максимальное влагосодержание, т.е. максимальное количество пара, которое может находиться в 1 кг сухого воздуха.

- Кроме абсолютной влажности пользуются еще понятием относительной влажности. Под относительной влажностью j понимают отношение действительной абсолютной влажности ненасыщенного воздуха к максимально возможной абсолютной влажности воздуха при

- той же температуре

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_{\max}}$$

- Относительная влажность изменяется в пределах от $j = 0$ (сухой воздух) до $j = 1$ (воздух, насыщенный влагой).

- Из уравнения Клапейрона $p_n = R_n \rho_n T$, $p_{\max} = R_n \rho_{\max} T$ следует,

что
$$\varphi = \frac{p_n}{p_{\max}} \quad .(b)$$

- Таким образом, если влажный воздух считать идеальным газом, то относительная влажность равна отношению парциального давления водяного пара в нем к максимально возможному давлению водяного пара при одинаковой температуре смеси.

- Из уравнений (a) и (b) следует
$$\varphi = \frac{d}{0,622 + d} \frac{p}{p_{\max}} \quad .$$

- Отсюда можно заключить, что при $p = p_{\max}$ относительная влажность зависит только от влагосодержания d .

5.7. ТЕПЛОЕМКОСТЬ И ЭНТАЛЬПИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

- Изобарную теплоемкость c_p обычно относят к 1 кг сухого воздуха или к $(1+d)$ кг влажного воздуха. Она равна сумме теплоемкостей 1 кг сухого воздуха и d кг пара $c_p = c_{pv} + c_{pn} d$, где c_{pv} – удельная изобарная теплоемкость сухого воздуха; c_{pn} – удельная изобарная теплоемкость водяного пара.
- Можно принять $c_{pv} \approx 1$ кДж/(кг·К) = const; $c_{pn} = 1,96$ кДж/(кг·К).
- Тогда $c_p = 1 + 1,96d$.
- Энтальпия влажного воздуха определяется как энтальпия газовой смеси, состоящей из 1 кг сухого воздуха и d кг водяного пара

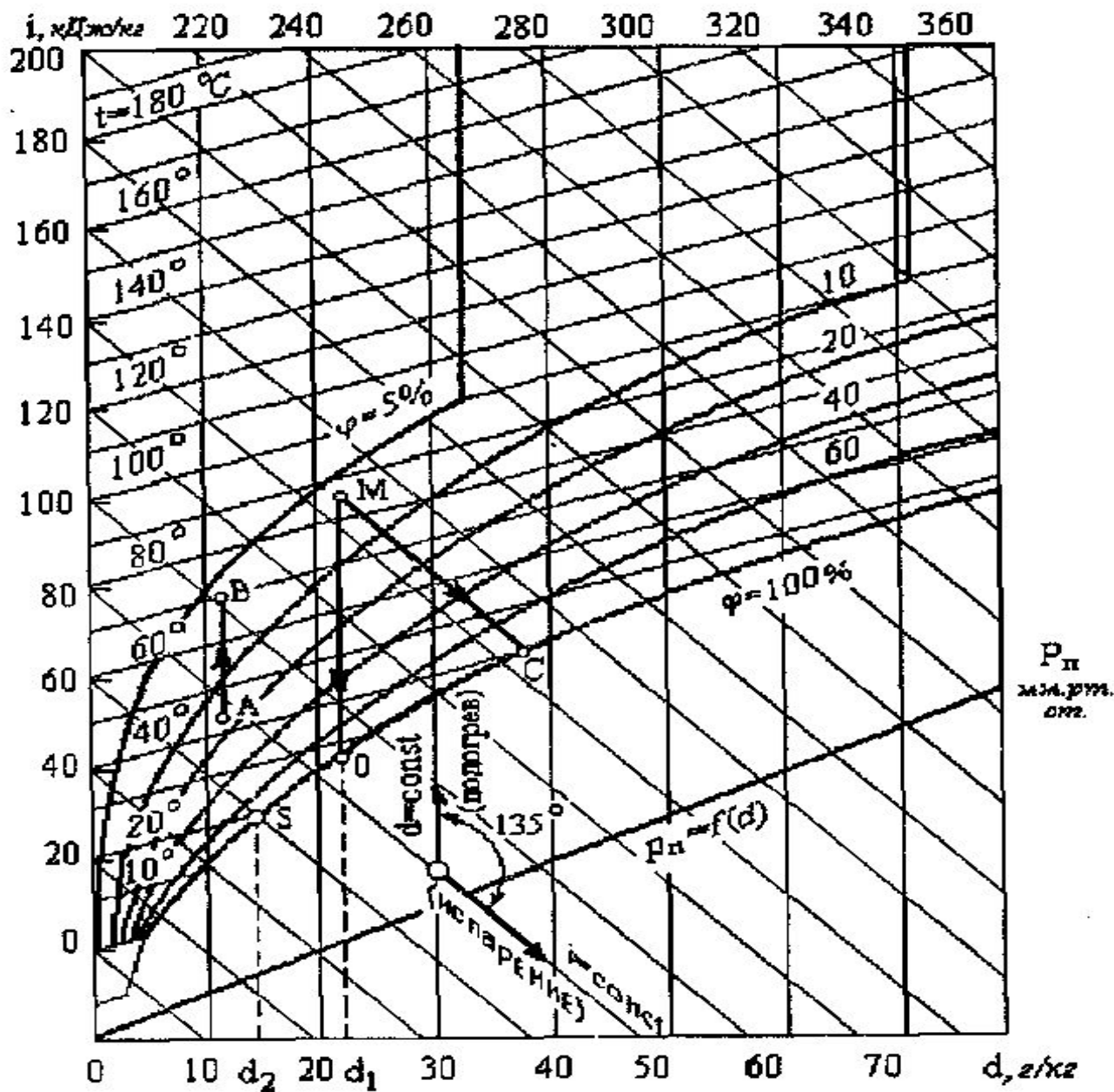
$I = i_v + i_n d$, где $i_v = c_{pv} t \approx t$ – энтальпия сухого воздуха;

$i_n = c_{p_{вво}} t_s + r + c_{pn} (t - t_s)$ – энтальпия водяного пара,

находящегося во влажном воздухе в перегретом состоянии; t – температура влажного воздуха; r – скрытая теплота парообразования; $c_{p_{вво}} = 4,19$ кДж/(кг·К) – удельная изобарная теплоемкость воды; t_s – температура насыщения при парциальном давлении пара в смеси.

5.8. *id*–ДИАГРАММА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

- Параметры влажного воздуха можно определить графически, пользуясь *id* – диаграммой влажного воздуха, предложенной Л.К. Рамзиным в 1918 г. (рис. 5.5).
- На этой диаграмме вертикальные линии – линии влагосодержания d (г/кг); линии, наклоненные к вертикальным линиям под углом 45° , являются линиями постоянных энтальпий. Кроме того, на диаграмме имеются линии постоянных температур влажного воздуха, кривые относительной влажности j воздуха, кривая парциальных давлений $p_p = f(d)$. Диаграмма обычно строится для какого-либо среднего барометрического давления.
- По *id* – диаграмме, зная температуру t и относительную влажность j , можно определить энтальпию i , влагосодержание d и парциальное давление p_p . По температурам сухого и мокрого термометров можно определить температуру точки росы, т.е. температуру, при которой воздух насыщен водяным паром ($j = 100\%$).
- Процесс нагрева влажного воздуха на *id* – диаграмме изображается вертикальной прямой линией (линия АВ) при $d = \text{const}$. Процесс охлаждения также протекает при $d = \text{const}$ и изображается вертикальной прямой (линия МО). Этот процесс справедлив только до состояния полного насыщения ($j = 100\%$). При дальнейшем охлаждении воздух будет пересыщен влагой, и она будет выпадать в виде росы.



- Процесс конденсации условно можно считать проходящим по линии $j = 100\%$. Например, при конденсации от точки O до точки S количество образовавшейся воды будет равно $d_1 - d_2$.
- Температура точки росы с помощью $i-d$ – диаграммы находится следующим образом. Из точки, характеризующей данное состояние влажного воздуха, проводится вертикаль до пересечения с линией $j = 100\%$. Изотерма, проходящая через эту точку пересечения, и будет определять температуру точки росы.