



# Реальные газы и пары

Фазовые переходы. Водяной пар  
(диаграммы состояния  $p$ - $v$ ,  $T$ - $S$ )

# Водяной пар

- **Реальный газ**, образующийся при испарении или кипении воды, - рабочее тело в теплотехнике.
- Испарение – парообразование происходящее только с поверхности жидкости.
- Кипение – парообразование происходит во всем объеме, занимаемом жидкостью.
- Процесс парообразования происходит с затратой тепла.

# Кипение

- Процесс происходит при определенной температуре.
- Температура кипения зависит от физических свойств жидкости и давления окружающей среды.
- Температура жидкости и давление, при котором происходит кипение, - температура и давление насыщения.

# Парообразование

- 1 кг воды при 0С и под некоторым давлением, создаваемым поршнем;
- Подводим тепло, температура ..... до достижения температуры ..... при данном давлении. Вода .....
- Парообразование продолжается до тех пор, пока вся вода не превратится в пар.

# Пар

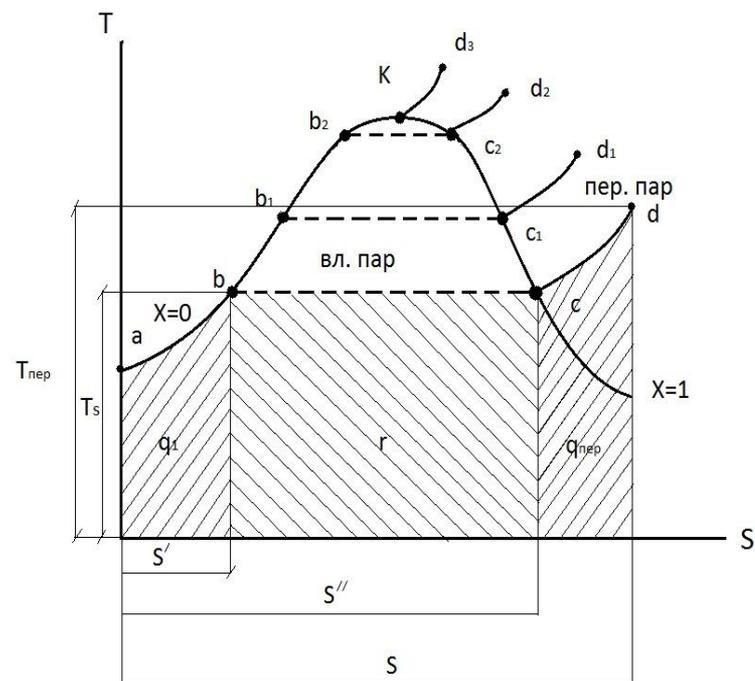
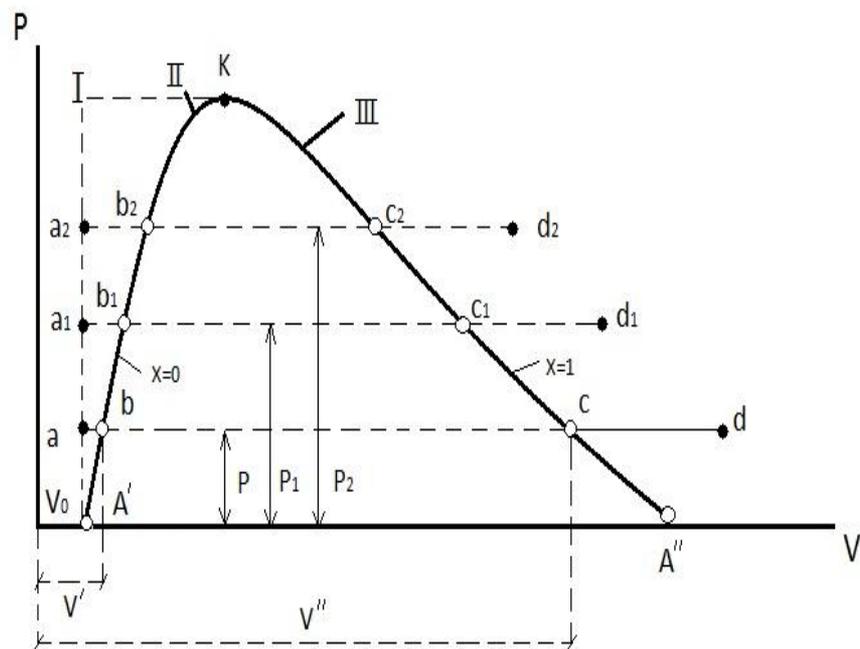
- Пар, не содержащий капелек воды и имеющий температуру насыщения, - **сухой насыщенный пар.**
- Если в объеме, занимаемом паром, содержатся мельчайшие капли воды – **влажный насыщенный пар.**
- Пар, нагретый до температуры выше температуры насыщения, - **перегретый ненасыщенный пар.**

# Критическая точка

- Критическая точка (удельные объемы пара и жидкости сравниваются) – максимально возможная температура сосуществования 2-х фаз: жидкости и насыщенного пара.  
 $t_{кр}=374,15\text{C}$ ;  $p_{кр}=22,129\text{ МПа}$ ;  
 $v_{кр}=0,00326\text{м}^3/\text{кг}$
- При температурах больше критической возможно существование только одной фазы.

# Тройная точка

- Наименьшее давление, при котором еще возможно равновесие воды и насыщенного пара, - давление тройной точки.
- Тройная точка – одновременно в равновесии находятся .....  $p_0=611 \text{ Па}$ ;  $t_0=0,01 \text{ С}$ ;  
 $v_0=0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$





# **Свойства влажного воздуха**

## **I-х диаграмма влажного воздуха**

# Влажный воздух

- Смесь сухого воздуха и водяного пара.
- Основные параметры:
  - абсолютная и относительная влажность,
  - влагосодержание,
  - энтальпия (теплосодержание),
  - плотность,
  - парциальное давление пара в воздухе,
  - температура.

# Влажный воздух

- Влажный воздух бывает **насыщенным** и **ненасыщенным**
- Если пар **сухой насыщенный** – воздух насыщенный влажный. При охлаждении такого воздуха – конденсация водяного пара.
- Если пар **перегретый** – воздух ненасыщенный. Такой воздух способен к увлажнению.

# Влажный воздух- идеальный газ

- С достаточной для технических расчетов степенью точности влажный воздух подчиняется законам смеси идеальных газов.
- Каждый компонент газовой смеси занимает тот же объем, что и вся смесь, имеет температуру и парциальное давление смеси.

# Закон Менделеева-Клапейрона

- Для идеальных газов:

$$pV = RT$$

- Плотность идеального газа:

$$\rho_{\Pi} = \frac{M_{\Pi} T_0 (\Pi - p_{\Pi})}{22,4 T \Pi_0}$$

# Относительная влажность воздуха

- Масса водяного пара в воздухе может меняться от 0 до максимального значения.
- Отношение абсолютной влажности к максимально возможной при той же температуре и давлении называют **относительной влажностью воздуха** или степенью насыщения (  $\varphi$  ).
- При  $\varphi=0$  – сухой воздух, при  $\varphi=100\%$  - насыщенный воздух.

# Влажосодержание воздуха

- Количество водяного пара содержащегося во влажном воздухе и приходящегося на 1 кг абсолютно сухого воздуха, объем которого не изменяется:

$$x = 0,622 \frac{\varphi p_{\text{нас}}}{P - \varphi p_{\text{нас}}}$$

где  $x$  - влажосодержание воздуха, кг п/кг в;  
0,622 – отношение мольных масс водяного пара и воздуха.

# Энтальпия

- Удельная энтальпия влажного воздуха равна сумме удельной энтальпии абсолютно сухого воздуха и удельной энтальпии водяного пара:

$$I = (c_v + c_p x)t + r_0 x = (1,01 + 1,97x)t + 2493x;$$

$$I = (c_v + c_p x)t + r_0 x = (1,01 + 1,97x)t + 2493x;$$

где  $I$  – энтальпия влажного воздуха, кДж/кг;

$c_v = 1,01$  – средняя удельная теплоемкость сухого воздуха (при постоянном давлении);

$c_p = 1,97$  – средняя удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг град);

$t$  – температура воздуха (по сухому термометру),  $^{\circ}\text{C}$ ;

$r_0 = 2493$  – удельная теплота парообразования воды при  $0^{\circ}\text{C}$ , кДж/кг.

- **Температура точки росы** – это температура, до которой необходимо охладить влажный воздух, чтобы он перешел в состояние насыщения ( $\phi=100\%$ ) при постоянном влагосодержании ( $x=\text{const}$ ).
- **Температура мокрого термометра** – это температура, до которой необходимо охладить влажный воздух, чтобы он перешел в состояние насыщения при постоянной энтальпии ( $I=\text{const}$ ).

# Диаграмма Рамзина(I-x или I-d)

- Барометрическое давление 745 мм рт ст;
- Угол между осями 135
- ✓ Вертикальные прямые –  $x=\text{const}$ ;
- ✓ Наклонные прямые  $I=\text{const}$ ;
- ✓ линии постоянства температур;
- ✓ линии постоянства относительной влажности;
- ✓ парциального давления водяного пара;
- ✓ температур мокрого термометра

# Диаграмма Рамзина (I-x или I-d)

- Линии  $\varphi = \text{const}$
- ❖ сходятся на оси ординат в точку ( $x=0$ ,  $t = -273\text{C}$ );
- ❖ имеют резкий перелом при  $t=99,4\text{C}$ , соответствующей барометрическому давлению 745 мм рт ст;
- ❖ линия  $\varphi=100\%$  делит диаграмму на область ненасыщенного и пересыщенного воздуха.

# Пересыщенный воздух

- Влага распылена в виде мельчайших капель;
- неприменимы зависимости для идеальных газов

# Диаграмма Рамзина ( I-x )

