



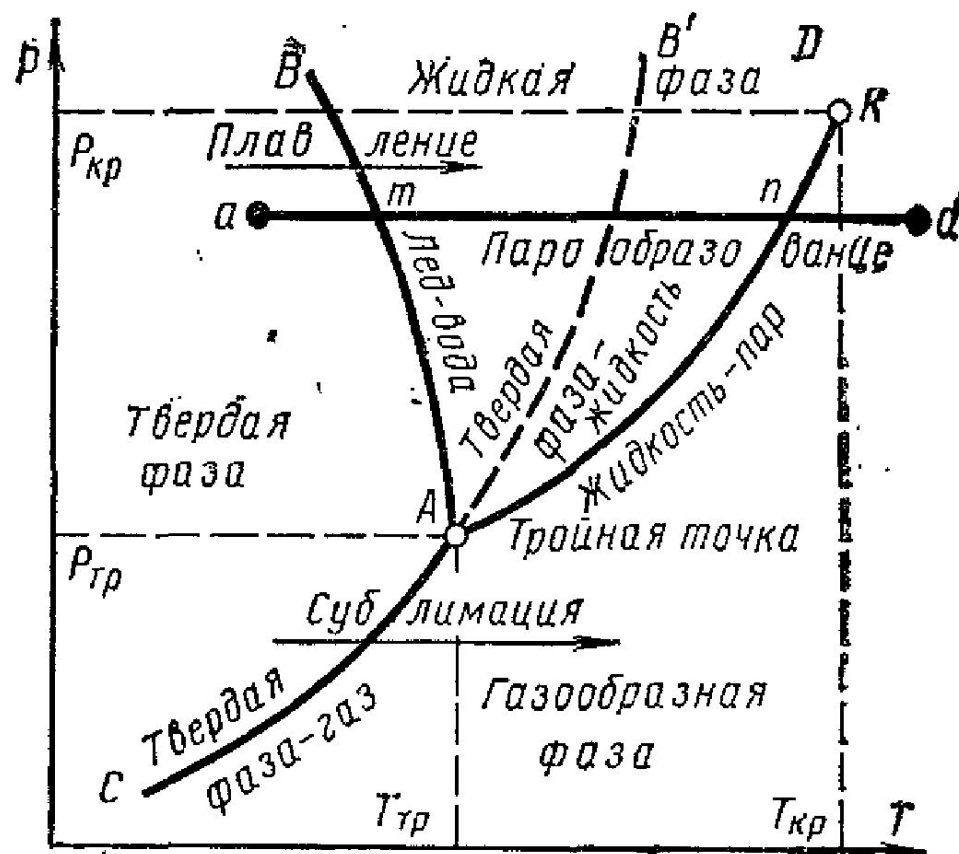
Свойства водяного пара

Основные понятия и определения

Водяной пар и его характеристики

Фазовая РТ-диаграмма

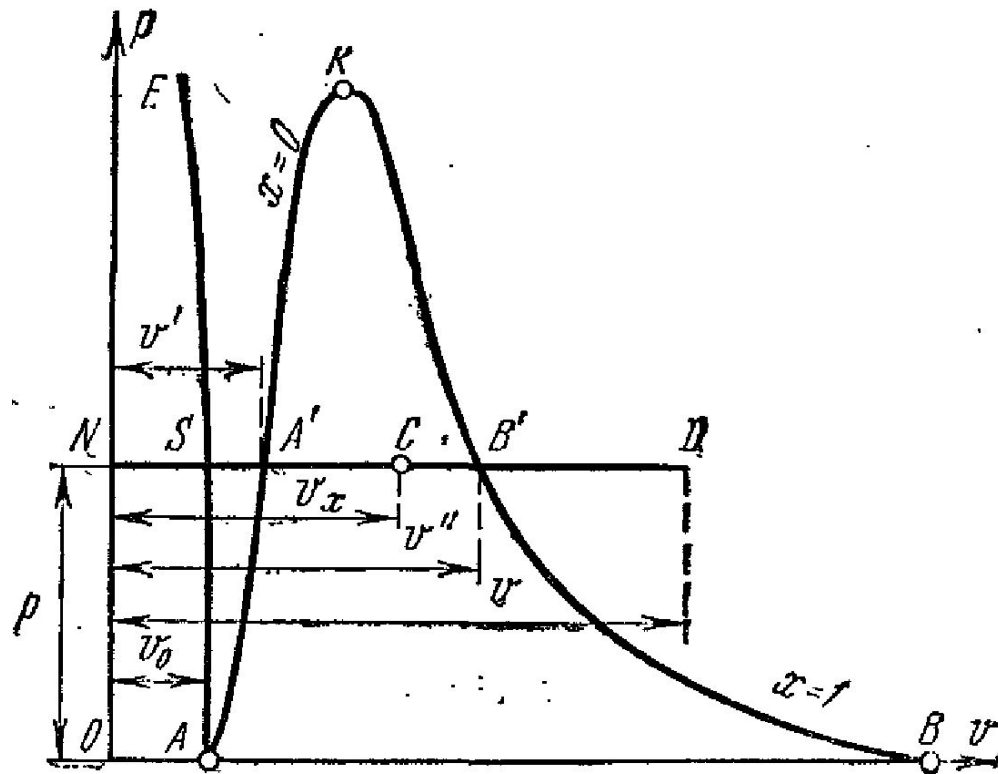
- $P_a = 0,000611 \text{ МПа}$
- $V_a = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$
- $t_a = 0,01^\circ\text{C}$



Между линиями АВ, АD, АК рабочее тело находится в одной фазе.
На линиях вещество может находиться в двух фазах

Водяной пар и его характеристики

- АЕ – состояние при $t=0^{\circ}\text{C}$
- АК – кривая начала парообразования при данном давлении с увеличением V ;
- КВ – конец парообразования.
- Далее, с V – перегретый пар.
- м/у АЕ и АК – нагрев жидкости;



- м/у АК и КВ – жидкость + пар с увеличением объема; После КВ – перегретый пар;
- АК – степень сухости $x=0$; кривая КВ – степень сухости $x=1$;
- т.А – тройная точка; АВ – изобара равновесия всех трех фаз;
- А'В' – изобара и изотерма т.к. процесс парообразования при $t=\text{const}$.

Pv -диаграмма водяного пара

- **Выводы по Pv - диаграмме:**
- Pv – диаграмма служит рабочим инструментом для определения свойств пара, например, по известным температуре и давлению можно найти плотность (уд. объем), а также состояние пара.
- Из Pv – диаграммы следует, что любое вещество может быть как в состоянии идеального газа, так и реального (все зависит от параметров). Если параметры близки к критическим или меньше их, явно проявляются свойства реального газа.
- Если температура больше критической, то вещество близко к состоянию идеального газа.
- Из Pv – диаграммы следует, что для превращения газа в жидкость необходимо сначала охладить до температуры меньше критической, а потом начинать сжатие.

Водяной пар

- Реальный газ, образующийся при испарении или кипении воды, - рабочее тело в теплотехнике.
- **Парообразование** – процесс превращения вещества из жидкого состояния в газообразное. Процесс парообразования происходит с затратой тепла.
- **Испарение** – парообразование происходящее только с поверхности жидкости.
- **Кипение** – парообразование происходит во всем объеме, занимаемом жидкостью.
- **Конденсация** – переход вещества из газообразного состояния в жидкое или твердое. Конденсат – жидкость, полученная при конденсации пара.
- **Сублимация** – переход твердого вещества в пар;
- **Десублимация** – переход пара в твердое состояние.

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**.

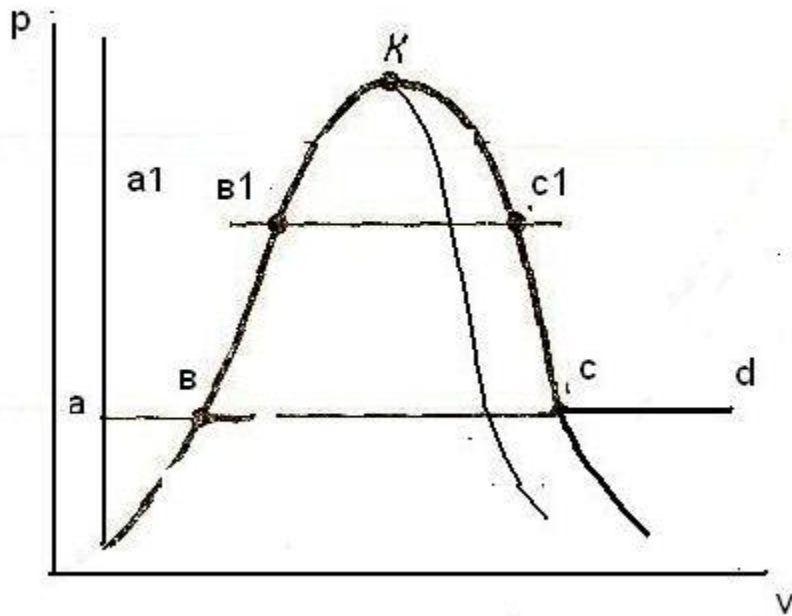
Степень сухости

- Массовая доля сухого пара во влажном паре – степень сухости:

$$x = \frac{m_{\text{П}}}{m_{\text{П}} + m_{\text{ВОДЫ}}}$$

где $m_{\text{П}}$ - масса сухого пара и неиспарившихся частиц воды в данном объеме соответственно, кг.

p-v диаграмма



- а – 1 кг, $t=0^{\circ}\text{C}$;
- а-в – подогрев до температуры насыщения;
- в-с – кипение и парообразование;
- с-сухой насыщенный пар;
- с-d – перегрев пара.

p-v диаграмма

- Нулевая изотерма;
- v-k – зависимость удельного объема воды от давления при параметрах насыщения;
- c-k- зависимость удельного объема сухого насыщенного пара от давления.

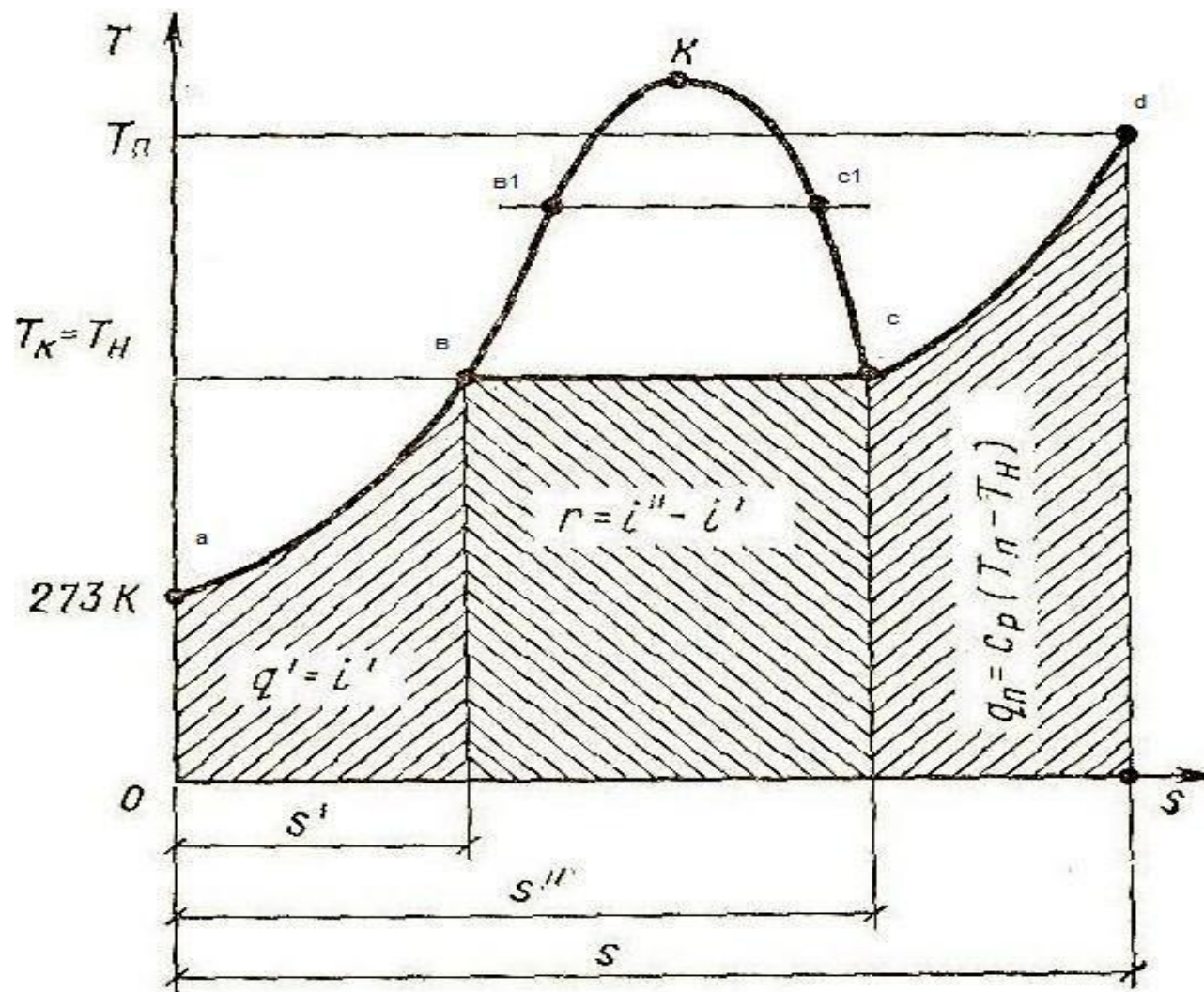
Критическая точка

- 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 $p_0=611$ Па; $t_0=0,01$ С;
 $v_0=0,001$ м³/кг

T-S диаграмма пара



T-S диаграмма

- Площадь под кривой а-в - количество тепла на подогрев воды от 0С до температуры кипения:

$$q_1 = c_p t_{\text{нас}} \text{ и } \Delta S = c_p \ln \frac{T_{\text{нас}}}{273}$$

- Площадь под кривой в-с – количество тепла на превращение 1 кг воды при температуре насыщения в сухой насыщенный пар:

$$q_2 = r \text{ и } \Delta S = \frac{r}{T_{\text{нас}}}$$

- Площадь под кривой с-d – количество тепла на перегрев сухого насыщенного пара до заданной температуре перегрева:

$$q_{\text{пер}} = c_{pT} (t - t_{\text{нас}}) \quad \Delta S = c_{pT} \ln \frac{T}{T_{\text{нас}}}$$

I-S диаграмма

