

Водяной пар  
и его свойства.

# Содержание:

- Введение
- Основные понятия и определения.
- Парообразование при постоянном давлении.
- Определение параметров воды и водяного пара
- $h_s$ - диаграмма водяного пара

# Введение

Во многих областях промышленного производства получил большое применение пар различных веществ: воды, аммиака, углекислоты и др. Из них наибольшее распространение получил водяной пар, являющийся рабочим телом в паровых турбинах, паровых машинах, в атомных установках, теплоносителем в различных теплообменниках и т.п.

Водяной пар относится к реальным газам. Известные уравнения состояния для водяного пара сложны (их реализация возможна на персональных компьютерах), для инженерных расчетов применяются таблицы и диаграммы воды и водяного пара, полученные экспериментально или вычисленные по уравнениям состояния.

# Основные понятия и определения

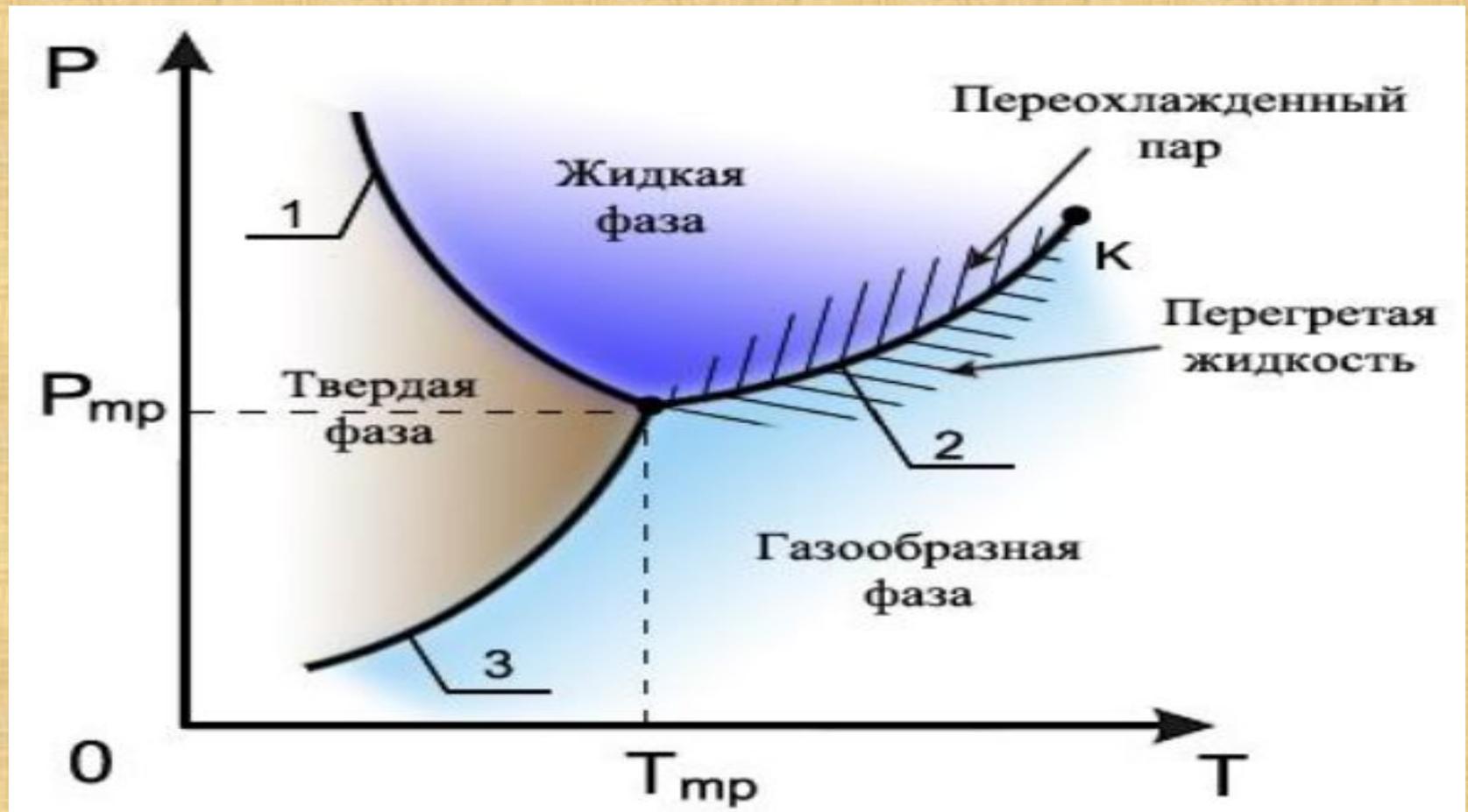
Как известно из курса общей физики, вода (как и всякое вещество) в зависимости от давления и температуры может находиться в различных агрегатных (или фазовых) состояниях: **газообразном жидком и твердом.**

Для равновесных состояний каждой фазы вещества существует термическое уравнение состояния

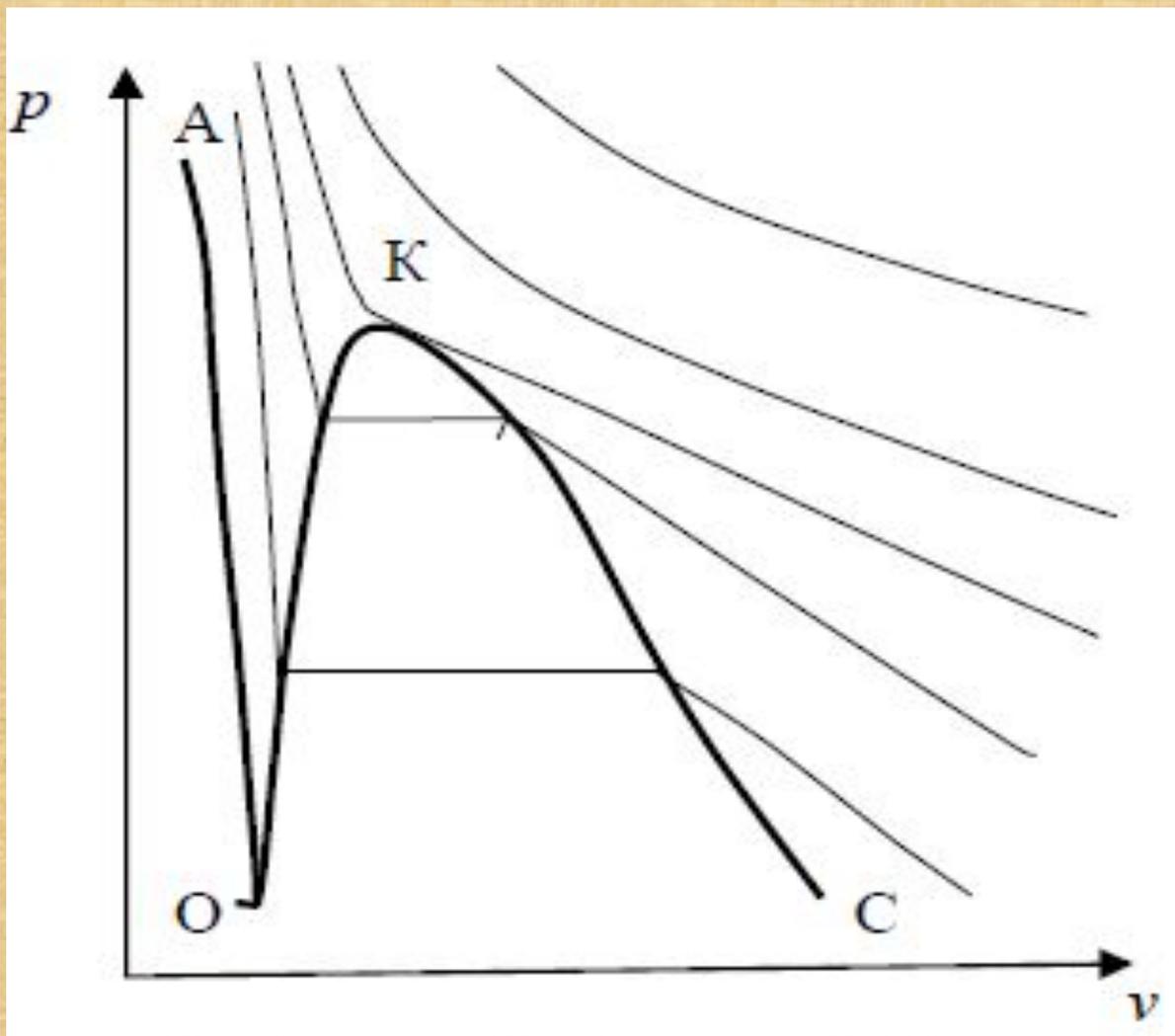
$$F(p, v, T) = 0 \text{ ф.1.}$$

которое находят путем измерения параметров  $p$ ,  $v$ ,  $T$ , т.е. экспериментально.

На рис. 1. изображена характерная  $p, T$ -диаграмма вещества с нанесенными на ней кривыми фазовых переходов

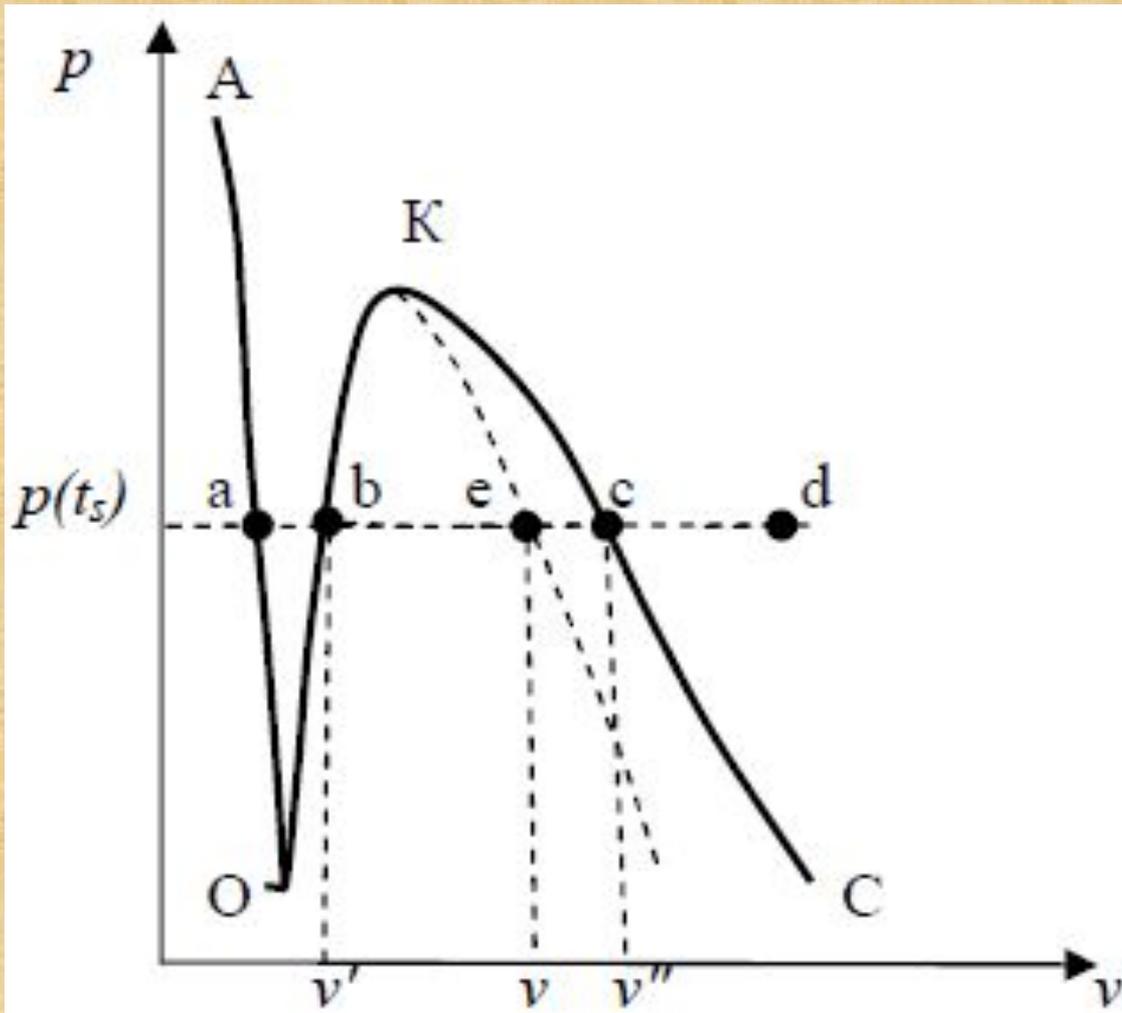


# Фазовая $p$ - $T$ -диаграмма.



- *Изотермический процесс – процесс, протекающий при постоянной температуре.*

# Парообразование при постоянном давлении



- **Насыщенная жидкость** – кипящая жидкость.
- **Линия насыщения жидкости** – линия раздела жидкой фазы и влажного пара на диаграммах.
- **Линия сухого насыщенного пара** – линия раздела влажного пара и перегретого пара на диаграммах.
- **Сухой пар-перегретый пар**

- Смесь жидкости и насыщенного пара называют ***влажным насыщенным паром*** или просто ***влажным паром***.
- Влажный пар характеризуется массовой долей паровой фазы, которая называется ***степенью сухости***:

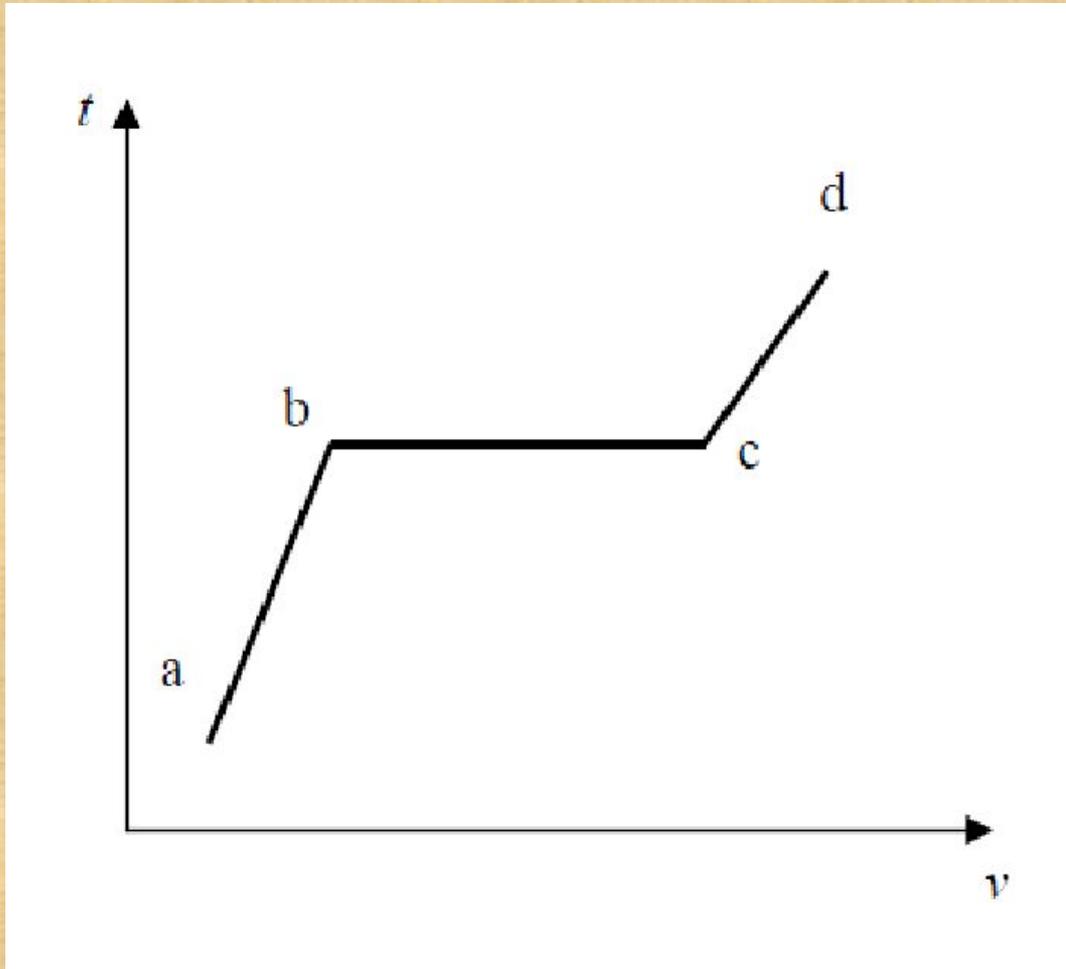
$$x = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{воды}}}$$

Где  $m_{\text{п}}$  – масса пара,  $m_{\text{ж}}$  – масса воды.

- Величина  $(1-x)$ , равная массовой доли воды во влажном паре, называется ***степенью влажности***.

Насыщенный пар.

- Степень сухости – массовая доля паровой фазы во влажном паре.
- При подводе теплоты к сухому насыщенному пару температура его возрастает, его удельный объем увеличивается, и сам пар переходит в состояние *перегретого пара*.
- Разность между температурой перегретого пара и температурой сухого насыщенного пара называется *степенью перегрева*.

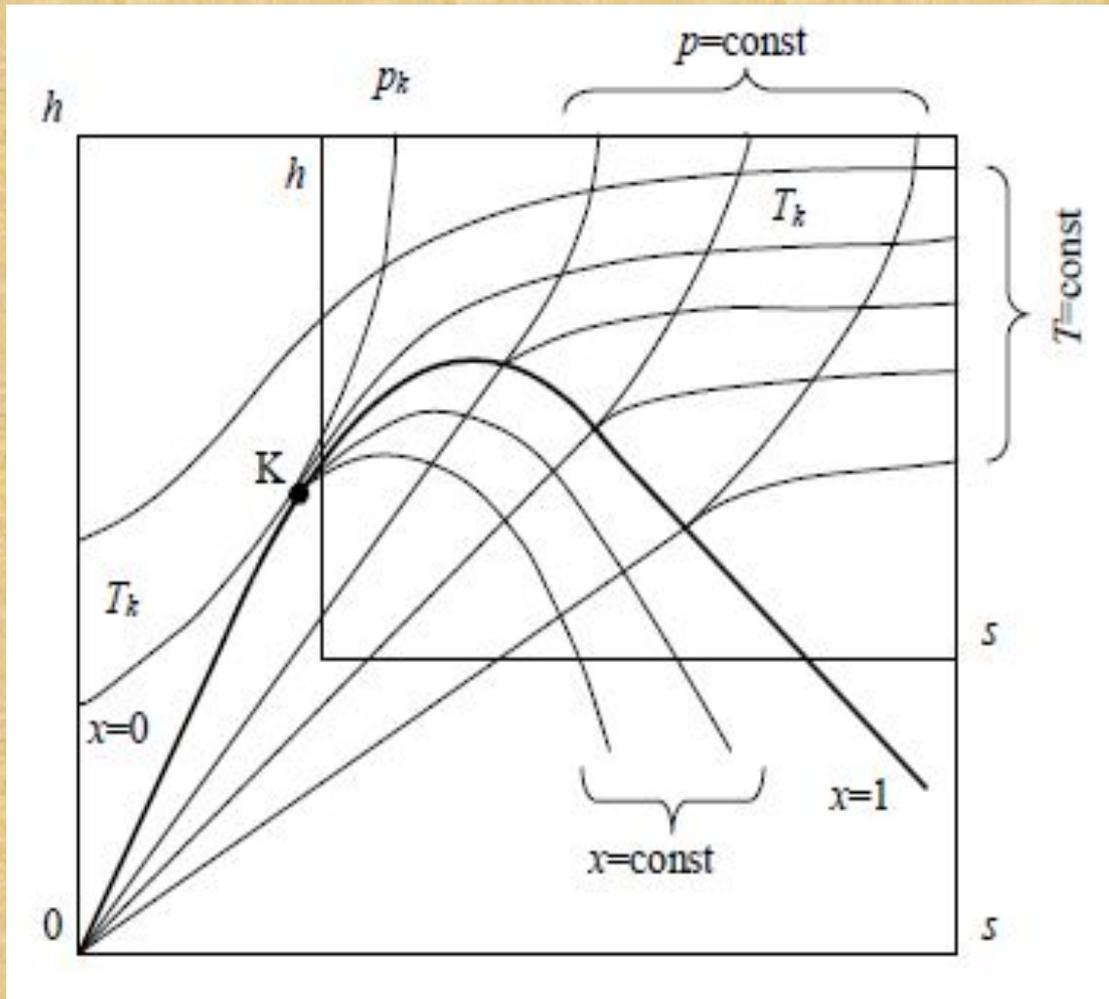


- Процессы подогрева жидкости a–b, парообразования b–e–c и перегрева пара c–d представлены в tv-диаграмме .
- Количество теплоты, затрачиваемое на превращение 1 кг кипящей воды в сухой насыщенный пар, называется **теплотой парообразования** (фазового превращения) и обозначается  $r$ , Дж/кг. С увеличением давления теплота парообразования уменьшается. В критическом состоянии  $r=0$ .

# Определение параметров воды и водяного пара (по таблицам)

Водяной пар, широко используемый в теплотехнике в качестве рабочего вещества, относится к реальным газам. В реальных газах, в отличие от идеальных, заметно влияние сил взаимодействия между молекулами. Известные уравнения состояния для водяного пара и для воды достаточно сложны, что инженерами непосредственно не используются, а в практике инженерных теплотехнических расчетов применяются таблицы и диаграммы воды и водяного пара, составленные по этим уравнениям.

# hs- диаграмма водяного пара



- **Тройная точка** – равновесное состояние, в котором существуют все три фазы вещества.
- **Энтальпия** – термодинамическая функция состояния, равная  $H = U + pV$
- **Энтропия** – термодинамическая функция состояния, являющаяся мерой необратимости процессов в изолированной системе.

Диаграмма позволяет по двум известным термодинамическим параметрам определить все остальные.

По известным начальному и конечному состояниям процесса можно определить изменение внутренней энергии по формуле:

$$\Delta u = u_k - u_n = (h_k - p_k v_k) - (h_n - p_n v_n) .$$

Удельная теплота процесса определяется по формулам:

- для изохорного процесса ( $v = const$ )  $q = \Delta u = h_k - h_n - v(p_k - p_n)$ ;
- для изобарного процесса ( $p = const$ )  $q = h_k - h_n$ ;
- для изотермического процесса ( $T = const$ )  $q = T(s_k - s_n)$ ;
- для изоэнтропического (обратимого адиабатного) процесса ( $s = const$ )  $q = 0$ .

Удельная работа процесса рассчитывается по формуле:

$$l = q - \Delta u .$$

- **Изохорный процесс** – процесс, протекающий при постоянном объеме.
- **Изотермический процесс** – процесс, протекающий при постоянной температуре.
- **Изобарный процесс** – процесс, протекающий при постоянном давлении.
- **Изоэнтروпийный процесс** — тепловой процесс, происходящий при постоянной энтропии
- **Адиабатный процесс** – процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой

Спасибо за  
внимание!!!