

Министерство образования и науки Республики Казахстан

**Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева**

Кафедра энергетики

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

Предмет: Техническая термодинамика

Выполнил: студент 2-го курса Караманов Руслан

Специальность: 5B071700-Теплоэнергетика

Проверил: Турмухамбетов А.Ж.

2018

Содержание

- 1. Фазовые состояния и превращения воды
- 2. Фазовые диаграммы p, T -, p, V - и T, s для воды
- 3. Жидкость на линии фазового перехода
- 4. Сухой насыщенный пар
- 5. Влажный насыщенный пар
- 6. Перегретый пар
- 7. Диаграмма i, s для воды и водяного пара

Фазовые состояния и превращения воды

Вода в равновесном состоянии

(без энергетических взаимодействий с окружающей средой)

У поверхности льда или жидкости всегда присутствует пар. Соприкасающиеся фазы находятся в т/д равновесии: быстрые молекулы вылетают из жидкой фазы, преодолевая поверхностные силы, а из паровой фазы медленные молекулы переходят в жидкую фазу.

В состоянии равновесия каждой T соответствует определенное **давление пара** – **полное** (если над жидкостью присутствует только пар) или **парциальное** (если присутствует смесь пара с воздухом или другими газами).

Пар, находящийся в равновесном состоянии с ж. фазой, из которой он образовался - насыщенный, а соответствующая ему T - T насыщения, а давление – p насыщения.

Фазовые состояния и превращения воды

Вода в неравновесном состоянии

(с энергетическими взаимодействиями с окружающей средой)

*Процесс некомпенсированного перехода вещества из ЖФ в Г - **испарение**.*

*Процесс некомпенсированного перехода вещества из ТФ в Г - **сублимация (возгонка)**.*

*Процесс перехода вещества из жидкой фазы в паровую непосредственно внутри жидкости - **кипение**.*

*Любой процесс перехода вещества из жидкой фазы в паровую - **парообразование**.*

*Процесс, противоположный парообразованию, т.е. некомпенсированный переход вещества из паровой фазы в жидкую - **конденсация**.*

*Процесс, противоположный сублимации, т.е. переход вещества из паровой фазы непосредственно в твердую - **десублимация**.*

*Жидкая фаза воды при температуре кипения - **насыщенная жидкость**.*

*Пар при температуре кипения (насыщения) - **сухой насыщенный пар**.*

*Двухфазная смесь "ж+n" в состоянии насыщения - **влажный насыщенный пар**.*

Фазовые диаграммы p, T -, p, V - и T, s для H_2O

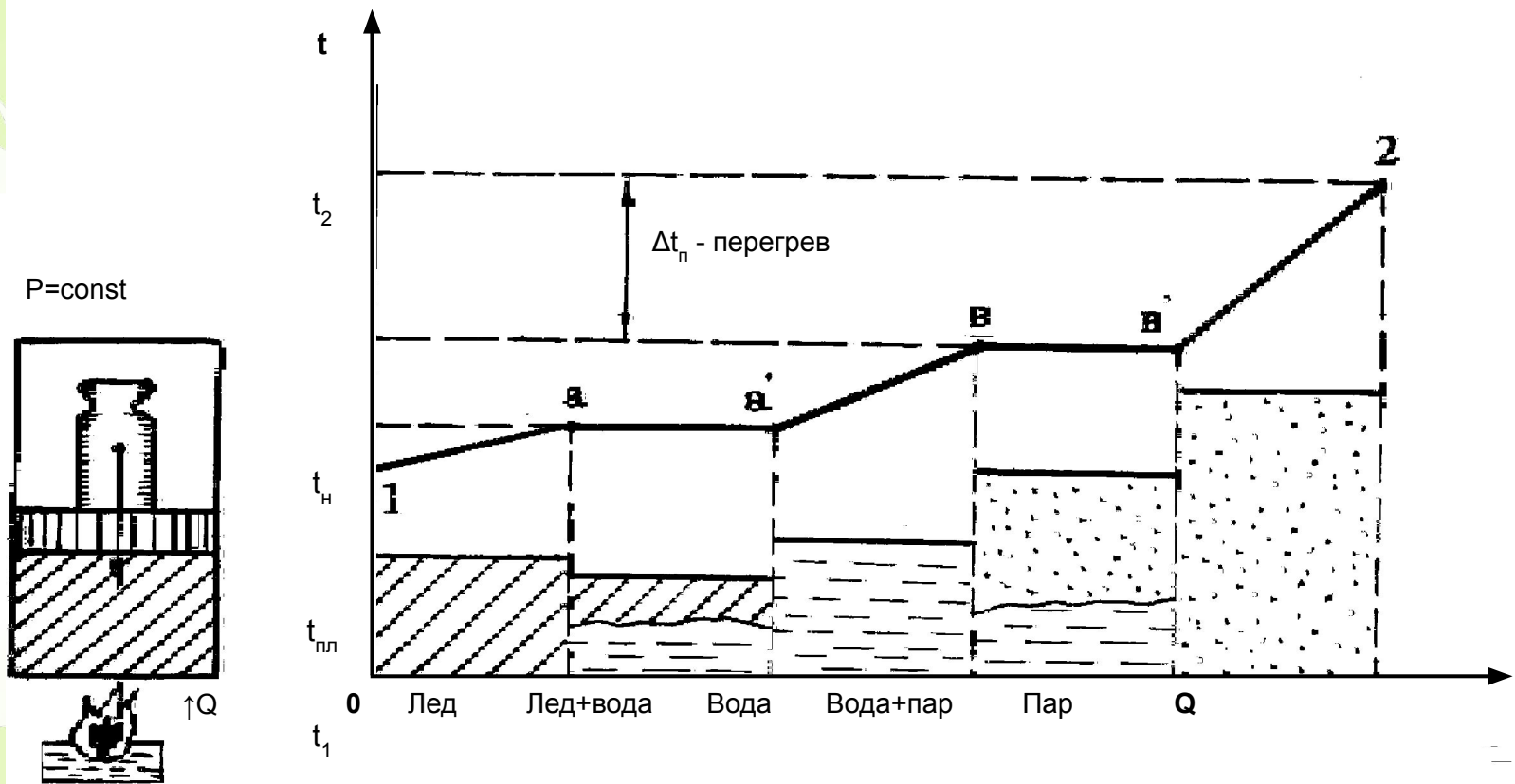


Рис. 1. Изменение температуры при изобарном подводе теплоты к H_2O

Фазовые диаграммы p, T -, p, V - и T, S для H_2O

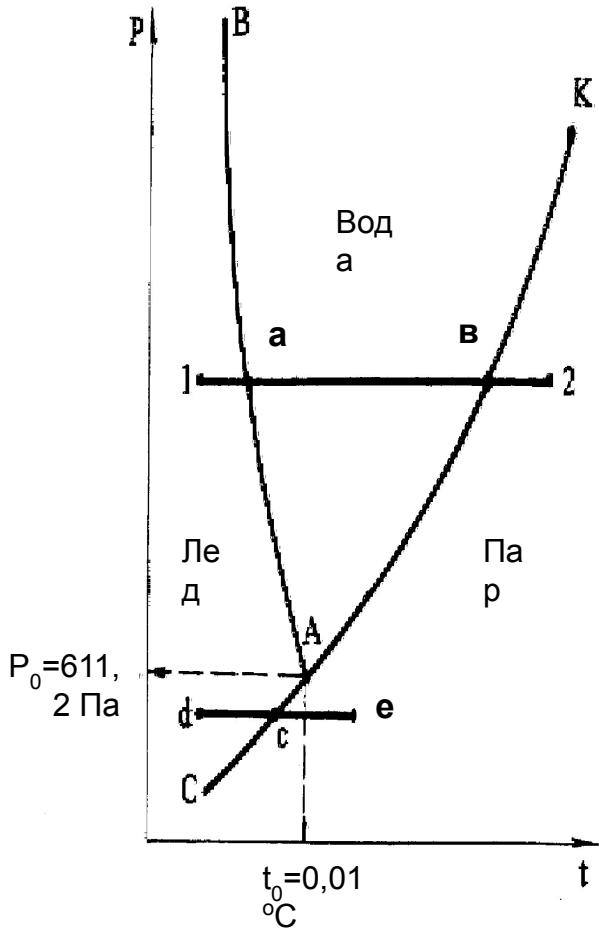


Рис. 2. Фазовая диаграмма P, t для воды

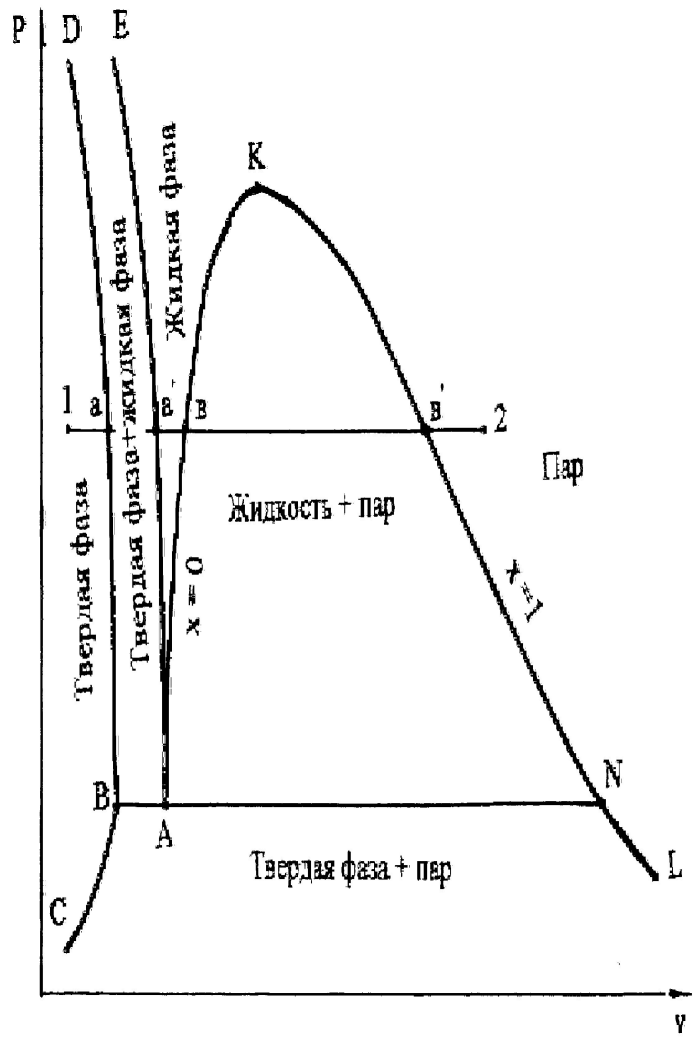


Рис. 3 Фазовая диаграмма P, v для нормального вещества

Фазовые диаграммы p,T -, p,V - и T,s для H_2O

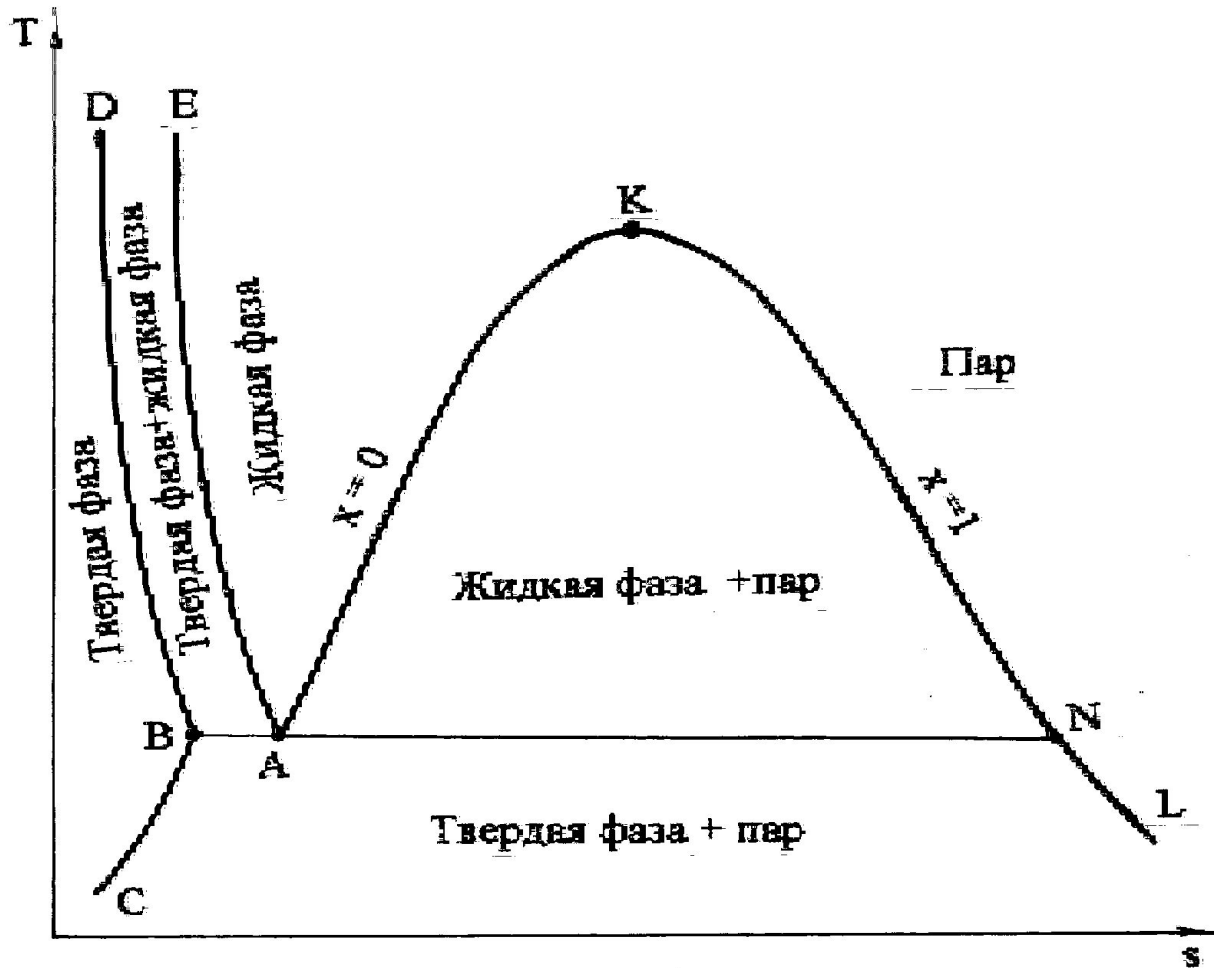


Рис. 4 Фазовая диаграмма T,s для нормального вещества

Фазовые диаграммы p, T -, p, V - и T, s для H_2O

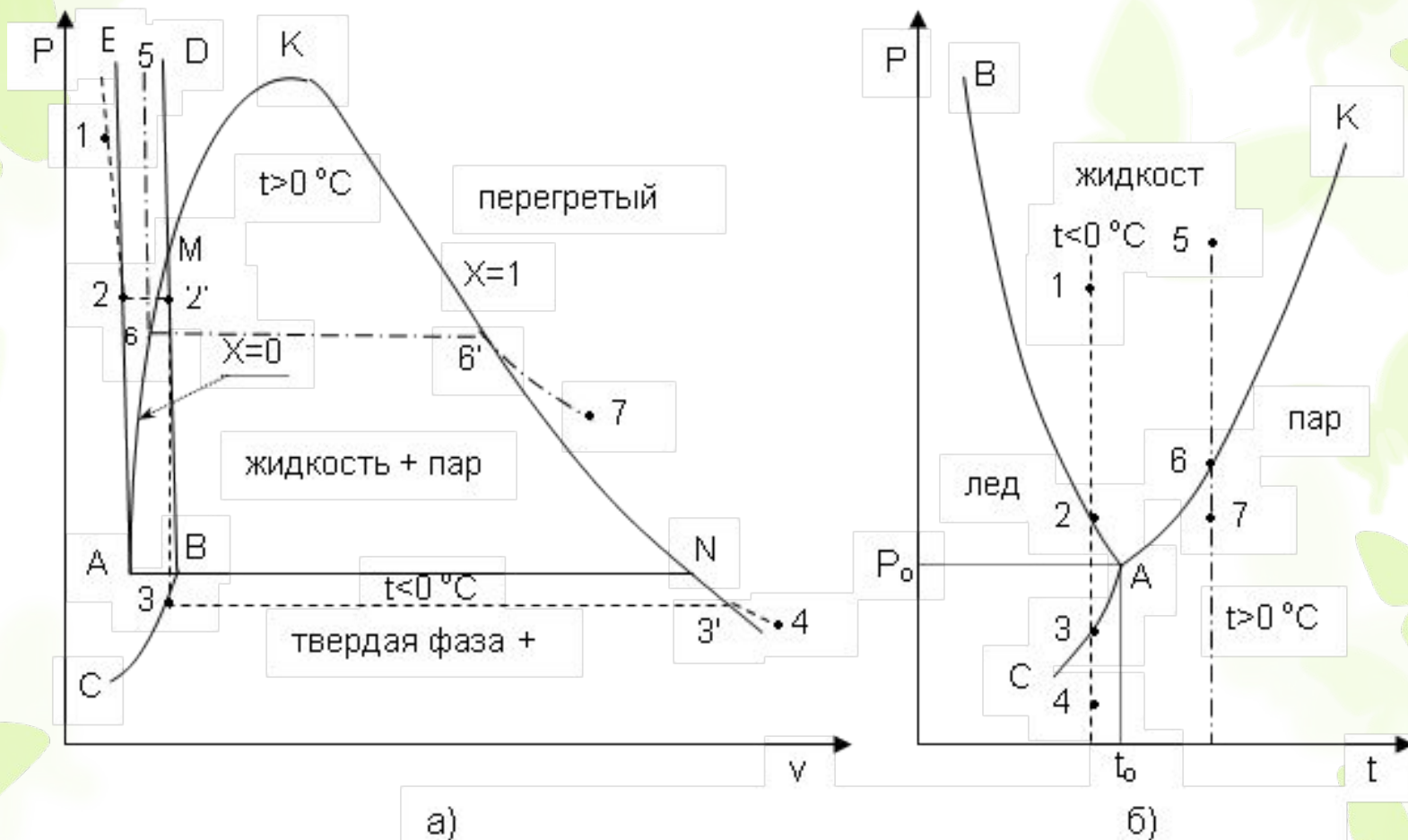


Рис. 5. Фазовые состояния для воды: а – в диаграмме P, v ,

Жидкость на линии фазового перехода

Энтропия жидкости на линии насыщения $x = 0$ определяется исходя из ее равенства нулю в тройной точке воды ($s_0' = 0$). С изменением давления энтропия Ж при T тройной точки (или $0\text{ }^\circ\text{C}$) s_0 изменяется незначительно. Поскольку энтропия, является функцией двух независимых параметров состояния, а при $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$ для всех давлений жидкости внутренняя энергия $Ж = 0$, то и энтропия жидкости при $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$ для всех давлений будет постоянной и равной энтропии жидкости в тройной точке воды, т.е. $s_0 = 0$.

Зная значение энтропии s_0 при $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$ и заданном давлении, энтропию жидкости на линии насыщения при T_H можно определить как

$$s' = s_0 + \int_{T_0}^{T_H} \frac{c_p dT}{T} \approx c_p \ln \frac{T_H}{273,16}$$

где $s_0 = s_0' = 0$ – при давлениях, используемых в технике; $c_p \cong 4,187\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ – при умеренных давлениях.

Определение энтальпии, энтропии и внутренней энергии жидкости при температурах меньших, чем температура насыщения при заданном давлении, ведется аналогичным образом.

Сухой насыщенный пар

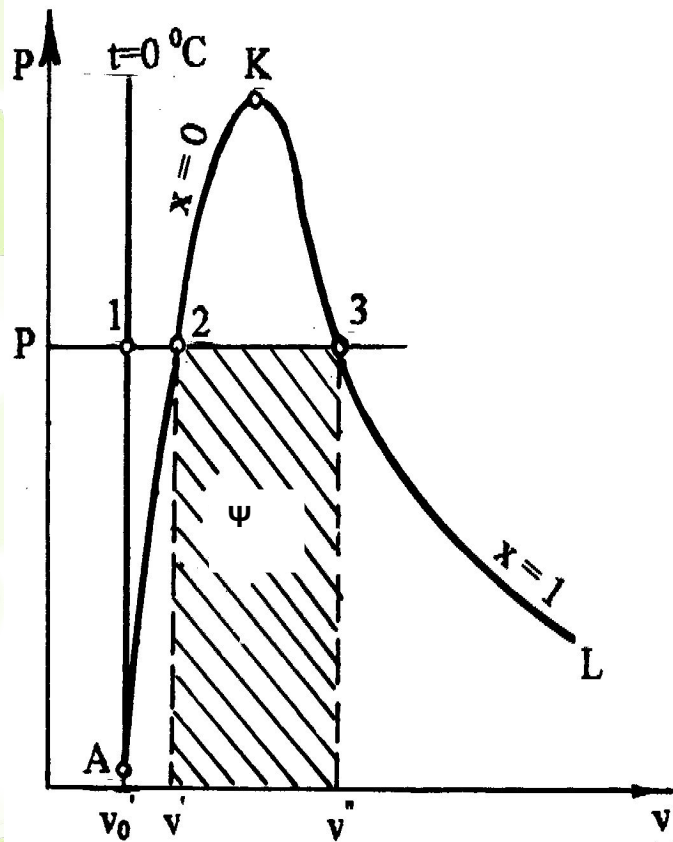


Рис. 6.1. Фазовый переход жидкости в пар в P, v - диаграмме для H_2O

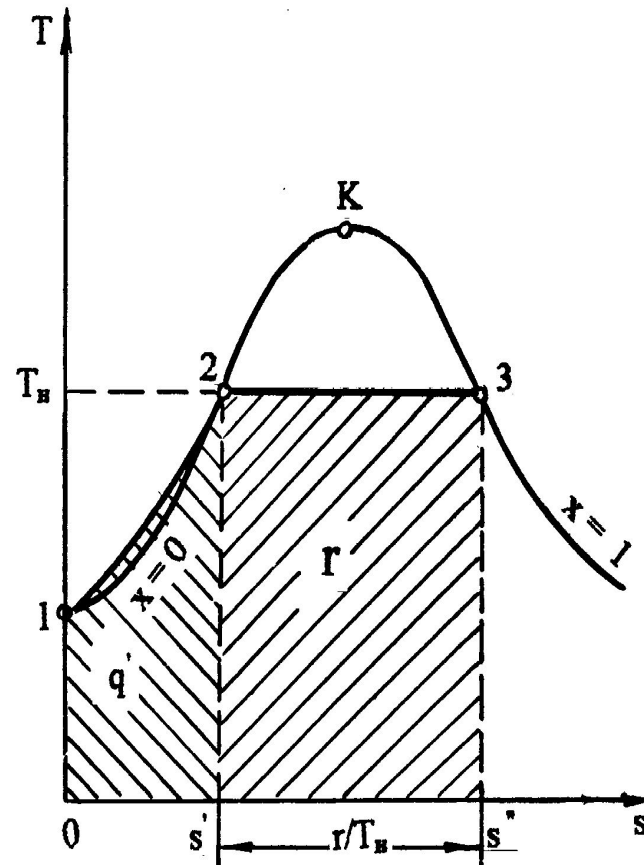


Рис. 6.2. Адиабатный процесс пара в P, v - диаграмме

Перегретый пар

Изобарный подвод теплоты к сухому насыщенному пару приводит к повышению его T по отношению к T насыщения при данном p . Параметры состояния перегретого пара обозначаются соответствующими буквами без индексов (t , h , s , u и т.д.)

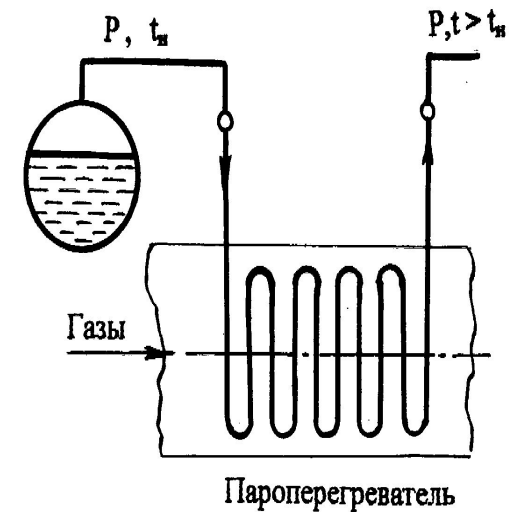


Рис. 6.17. Схема пароперегревателя

Теплота, необходимая для перевода 1 кг сухого насыщ. пара в перегретый пар с температурой t при изобарном ее нагревании, называется *теплотой перегрева*

$$q_{\text{п}} = \int_{t_n}^t c_p dt = h - h'' = u - u'' + P(v - v'')$$

где c_p — масс. изобарная тепло-ть перегретого пара

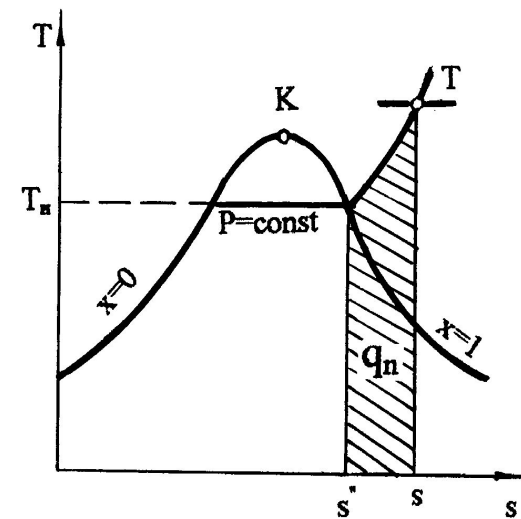


Рис. 6.18. К определению параметров перегретого пара

Диаграмма $i(h),s$ для воды и водяного пара

В инженерной практике широкое применение находит h,s - диаграмма для воды и водяного пара. Такое широкое использование h,s - диаграммы в теплоэнергетических расчетах обусловлено тем, что для основных процессов теплоэнергетических установок (изобарного, $P=\text{const}$, и адиабатного, $s=\text{const}$) разности энтальпий представляют их главные энергетические характеристики: количество теплоты или техническую работу, которые в h,s - диаграмме могут быть элементарно представлены отрезками вертикальных прямых линий. В T,s - диаграмме эти величины представляются сложными площадями.

Диаграмма h,s строится по данным таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара. На рис. 6.22 приведен общий вид такой диаграммы для воды и водяного пара.

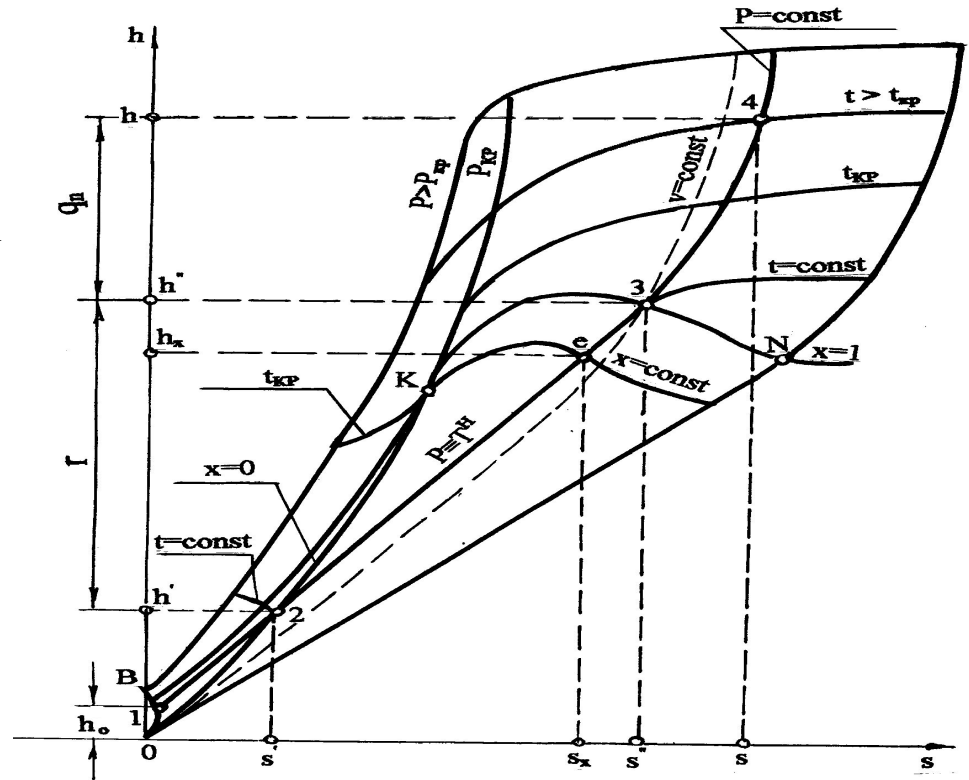


Рис. 6.22. Диаграмма h, s для жидкости и пара

За начало отсчета энтропии в h,s - диаграмме, как и в T,s - диаграмме, приняты параметры тройной точки жидкой фазы воды. В этой точке $s_0'=0$ и $u_0'=0$, а энтальпия $h_0' = 0,000614$ кДж/кг будет больше нуля, но численное ее значение очень мало. Следовательно, начало линии $x=0$, соответствующее тройной точке воды, расположено очень близко к началу координат. При повышении давления и температуры энтальпия h' и энтропия s' жидкости на линии насыщения растут до критической точки и пограничная линия $x=0$ представляется вогнутой кривой ОК.

Пограничная кривая сухого насыщенного пара $x=1$ имеет вид кривой KN. Максимальное значение энтальпии (ординаты) этой кривой $h''_{\text{max}} = 2801,9$ кДж/кг достигается при давлении около 30 бар и энтропии 6,18 кДж/(кг·К).

Контрольные вопросы

- 1. В каких фазовых состояниях может находиться вода?
- 2. Что такое испарение, сублимация, десублимация?
- 3. Что такое конденсация, парообразование, кипение?
- 4. Дайте определение сухого насыщенного пара, влажного насыщенного пара и перегретого пара.
- 5. Какие диаграммы для воды и водяного пара чаще всего используются в инженерных расчетах?

Список литературы:

- 1. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник-М.: Энергоатомиздат, 1984, 80с.
- 2. Лобасова М.С., Финников К.А., Миловидова Т.А., Дектерев А.А., Серебренников Д.С., Минаков А.В., Кузоватов И.А., Васильев В.В. Тепломассообмен (Электронный курс). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009