

---

# Термодинамика и теплопередача

лектор

Зиякаев Григорий Ракитович

---

# Лекция 12

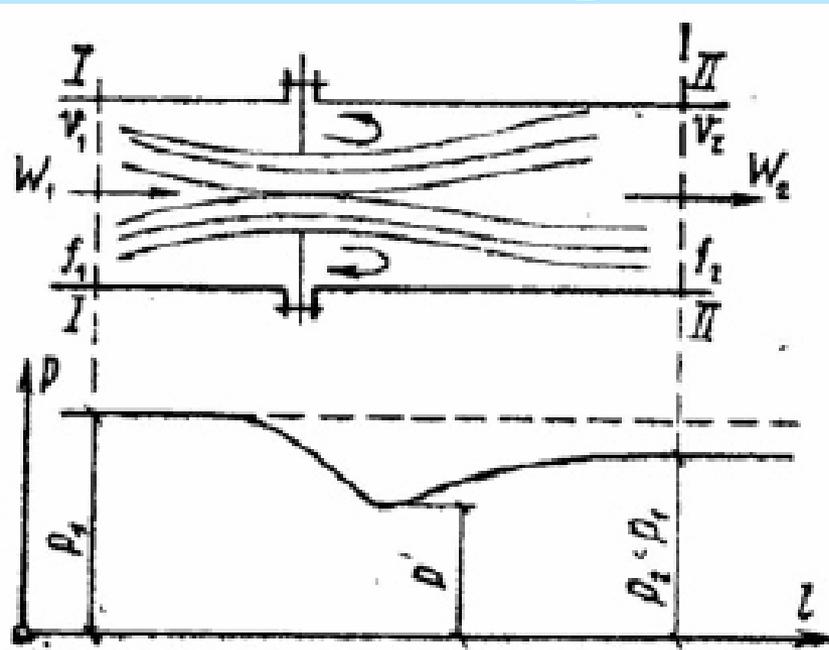
## Содержание

- Дросселирование

# Дросселирование

Дросселированием называется адиабатный необратимый процесс, при котором пар или газ переходит с высокого давления на низкое без совершения внешней работы и без подвода или отвода теплоты.

Такое явление происходит в трубопроводе, где имеется место сужения проходного канала. При таком сужении, вследствие сопротивлений, давление за местом сужения -  $p_2$ , всегда меньше давления перед ним -  $p_1$ .



# Дросселирование

При дросселировании энтальпия не меняется

$$h_2 = h_1$$

Таким образом, при дросселировании:

- Давление уменьшается  $p_2 < p_1$
- Энтальпия не изменяется  $h_1 = h_2$
- Удельный объем увеличивается  $v_2 > v_1$
- Энтропия увеличивается  $s_2 > s_1$
  
- Температура **идеального газа** не изменяется.
- Температура **реального газа** может увеличиваться, уменьшаться и оставаться неизменной
- Температура **пара** уменьшается всегда

# Эффект Джоуля-Томпсона

- **Определение дроссельного эффекта (эффекта Джоуля-Томсона).** Отношение изменения температуры газа в результате его изоэнтальпийного расширения (дросселирования) к изменению давления называется дроссельным эффектом, или эффектом Джоуля - Томсона.
- При охлаждении газа эффект считается положительным, при нагревании его — отрицательным.
- **Коэффициент Джоуля-Томсона.** Изменение температуры при снижении давления на 1 ата (0,1 МПа) называется коэффициентом Джоуля - Томсона. Этот коэффициент изменяется в широких пределах и может иметь положительный или отрицательный знак.

# Эффект Джоуля-Томпсона

**Интегральный дроссель-эффект и области его значения.**

Изменение температуры газа в процессе изоэнтальпийного расширения при значительном перепаде давления на дросселе называется интегральным дроссель-эффектом. Это изменение можно определить по соотношению

$$T_1 - T_2 = \int_{P_2}^{P_1} D_i dp.$$

Интегральный коэффициент Джоуля-Томсона для природного газа изменяется от 2 до 4 К/МПа в зависимости от состава газа, падения давления и начальной температуры газа. Для приближенных расчетов среднее значение коэффициента Джоуля-Томсона можно принять равным 3 К/МПа.

# Дросселирование

## Задача

Рассчитать процесс дросселирования водяного пара. Параметры водяного пара на входе в дроссельный вентиль даны в таблице. На выходе из дроссельного вентиля пар сухой насыщенный. Определить параметры пара на входе в дроссельный вентиль  $(p_1, t_1, x_1, v_1, h_1, S_1, u_1)$  и на выходе  $(p_2, t_2, x_2, v_2, h_2, S_2, u_2)$ . Результаты представить в виде таблицы.

Процесс дросселирования изобразить в  $h$ s- диаграмме

# Дросселирование

Таблица 1.

№ вар.	Исходные данные	
	1	2
1	$P_1 = 10 \text{ бар}$	$x_1 = 0,95$
2	$t_1 = 179,8^\circ\text{C}$	$v_1 = 0,1863 \text{ м}^3/\text{кг}$
3	$P_1 = 10 \text{ бар}$	$S_1 = 6,4516 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
4	$t_1 = 179,8^\circ\text{C}$	$x_1 = 0,98$
5	$P_1 = 10 \text{ бар}$	$S_1 = 6,3626 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
6	$t_1 = 151,8^\circ\text{C}$	$S_1 = 6,5829 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
7	$P_1 = 5 \text{ бар}$	$v_1 = 0,3606 \text{ м}^3/\text{кг}$

№	1	2
8	$t_1 = 151,8^\circ\text{C}$	$v_1 = 0,3621 \text{ м}^3/\text{кг}$
9	$P_1 = 5 \text{ бар}$	$x_1 = 0,98$
10	$t_1 = 151,8^\circ\text{C}$	$x_1 = 0,952$
11	$P_1 = 20 \text{ бар}$	$x_1 = 0,952$
12	$t_1 = 212,4^\circ\text{C}$	$x_1 = 0,95$
13	$P_1 = 20 \text{ бар}$	$v_1 = 0,09544 \text{ м}^3/\text{кг}$
14	$t_1 = 212,4^\circ\text{C}$	$v_1 = 0,09754 \text{ м}^3/\text{кг}$
15	$P_1 = 20 \text{ бар}$	$S_1 = 6,1503 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
16	$P_1 = 30 \text{ бар}$	$v_1 = 0,06349 \text{ м}^3/\text{кг}$
17	$t_1 = 233,8^\circ\text{C}$	$S_1 = 6,0508 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
18	$P_1 = 30 \text{ бар}$	$x_1 = 0,97$
19	$t_1 = 233,8^\circ\text{C}$	$v_1 = 0,06529 \text{ м}^3/\text{кг}$
20	$P_1 = 30 \text{ бар}$	$S_1 = 6,0224 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
21	$t_1 = 179,8^\circ\text{C}$	$S_1 = 6,4027 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
22	$P_1 = 10 \text{ бар}$	$v_1 = 0,1655 \text{ м}^3/\text{кг}$
23	$P_1 = 10 \text{ бар}$	$S_1 = 6,3325 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
24	$t_1 = 151,8^\circ\text{C}$	$S_1 = 6,6523 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
25	$t_1 = 212,4^\circ\text{C}$	$S_1 = 6,1816 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
26	$P_1 = 20 \text{ бар}$	$x_1 = 0,969$
27	$t_1 = 233,8^\circ\text{C}$	$x_1 = 0,951$
28	$P_1 = 30 \text{ бар}$	$v_1 = 0,06482 \text{ м}^3/\text{кг}$
29	$t_1 = 233,8^\circ\text{C}$	$S_1 = 6,1181 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$
30	$P_1 = 30 \text{ бар}$	$x_1 = 0,953$