



ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ГАЗОВ. ВИДЫ КОМПРЕССОРОВ

В химической промышленности используются различные газы и их смеси с давлением от 10^3 до 10^8 Па.

В зависимости от давления газа, создаваемого при сжатии, компрессоры подразделяются на несколько групп:

- Вакуум-насос – это машина, которая удаляет газ из пространства с давлением ниже атмосферного и, сжимая его, нагнетает в пространство с атмосферным давлением
- Газодувка – машина для сжатия газа до давления 0,1 до 0,3 МПа
- Компрессор низкого давления – осуществляет сжатие до давления 0,5 – 0,6 МПа
- Компрессор среднего давления – сжимает газ до давления 3,0 МПа
- Компрессор высокого давления – сжатие до давления более 10 МПа ($\approx 10 - 100$ ат)

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРА

Количественные характеристики компрессоров – объемная подача и степень сжатия.

Объемная подача – объем газа, засасываемого компрессором в единицу времени при начальных параметрах. Чаще всего используются параметры окружающей среды или нормальные физические условия $P_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $T_0 = 293,15 \text{ К}$. Объемный расход газа при данных условиях выражается в $\text{нм}^3/\text{с}$ или $\text{нм}^3/\text{ч}$.

В зависимости от подачи различают компрессоры:

- ➔ малой подачи – до $0,003 \text{ м}^3/\text{с}$
- ➔ средней подачи – от $0,003$ до $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$
- ➔ высокой подачи – более $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

Степень сжатия – отношение начального объемного расхода газа к конечному.

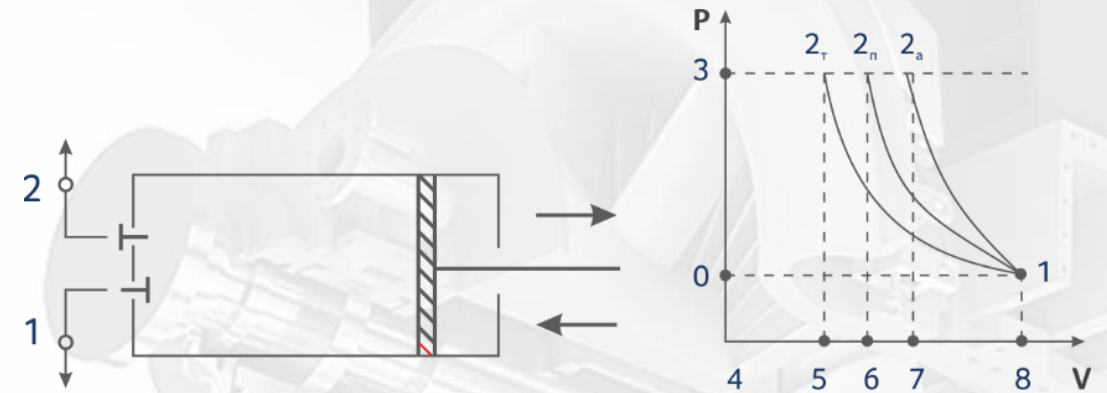
$$\lambda = \frac{P_2}{P_1}$$

Качественная характеристика работы компрессора – степень повышения давления показывает во сколько раз увеличилось давление газа при сжатии.

ИДЕАЛЬНЫЙ ЦИКЛ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

Полная работа компрессора складывается из работы, затраченной на всасывание, сжатие и нагнетание.

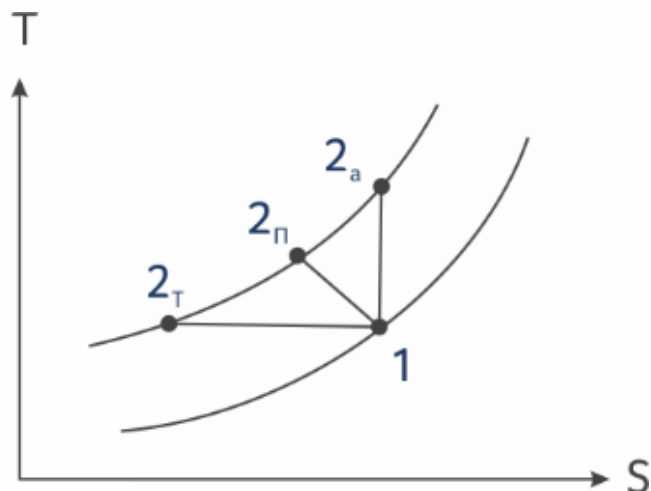
На диаграмме она соответствует площади поверхности F-0123. Очевидно, что для адиабатного процесса сжатия требуется максимальная работа (площадь F-012a3)



Для процесса сжатия возможны следующие варианты:

- ➔ $1 - 2r - T = \text{const}$ (изотермический)
- ➔ $1 - 2a - s = \text{const}$ (адиабатный)
- ➔ $1 - 2n - n = \pm \infty$ (политропный)

РАБОТА КОМПРЕССОРА



→ 1 – 2_т – T = const
(изотермический)

→ 1 – 2_а – s = const
(адиабатный)

→ 1 – 2_п – n = ± ∞
(политропный)

ВИД ПРОЦЕССА

Изотермический T = const
1 – 2_т

Адиабатный s = const
1 – 2_а

Политропный n = ± ∞
1 – 2_п

Работа компрессора, F_к

$$RT \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad F_k = F_{012т30}$$

$$\frac{k}{k-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad F_k = F_{012т30}$$

$$\frac{n}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad F_k = F_{012т30}$$

МНОГОСТУПЕНЧАТОЕ СЖАТИЕ

Степень повышения давления
для одноступенчатого компрессора

$$\lambda = \frac{P_2}{P_1} = 3 \div 7$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

или

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \cdot (\lambda)^{\frac{k-1}{k}}$$

В качестве примера рассмотрим компрессию воздуха в производстве аммиака. В колонну синтеза газ поступает с давлением 3,5 МПа (≈ 35 ат). Воздух всасывается из атмосферы – температура $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ($T_0 = 20 + 273,15 = 293,15$ K), $P_0 = 1$ ат. Требуемая степень повышения давления $\lambda = 35$.

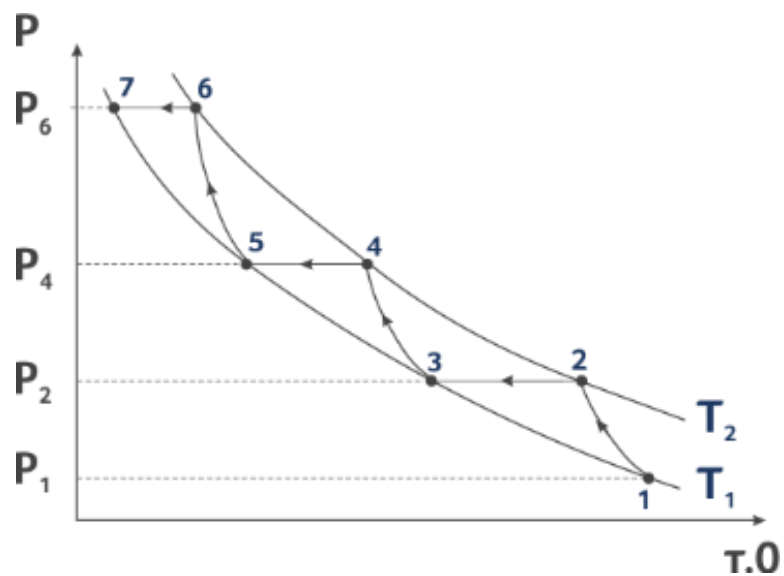
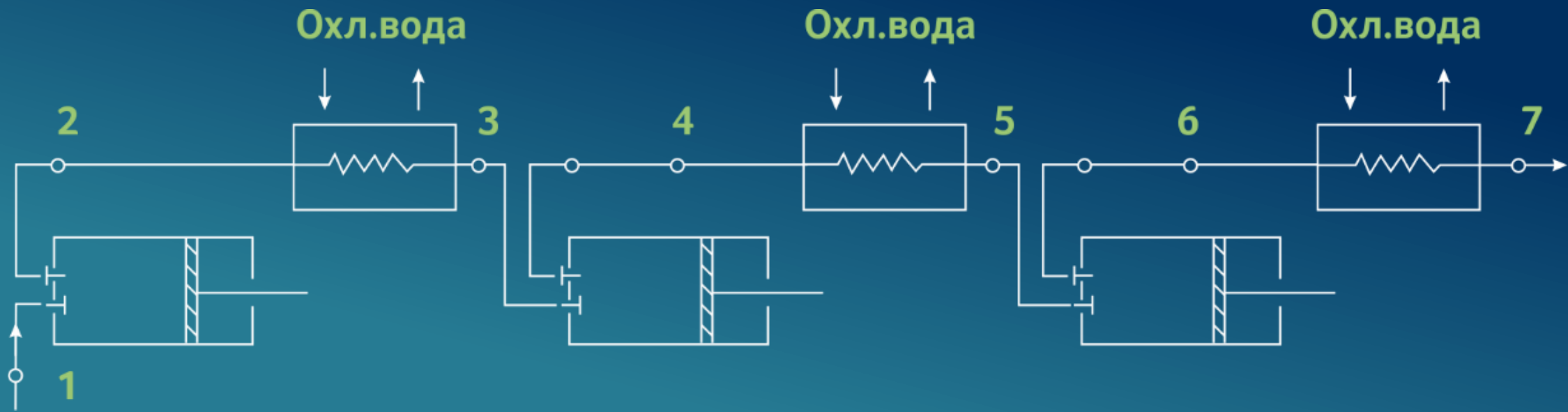
Температура воздуха при одноступенчатом (однократном) сжатии:

$$T_2 = 293,15 \cdot \left(\frac{35}{1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 809,56 \text{ K}$$

или

$$t_2 = 536,4^\circ\text{C}$$

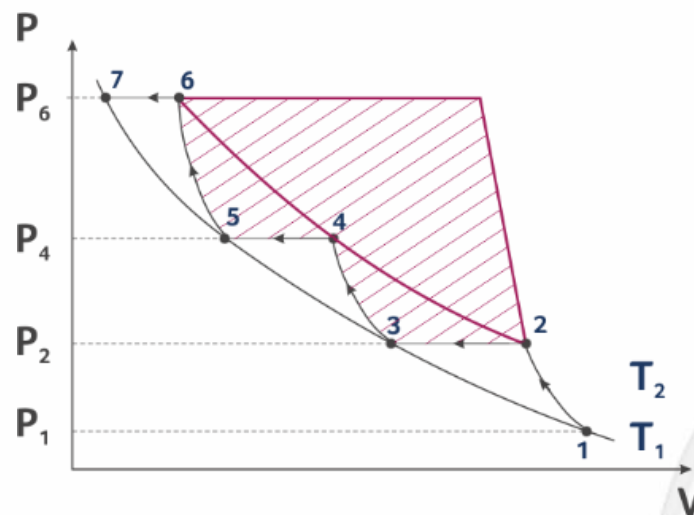
Температура газа резко увеличивается, что недопустимо при работе компрессора.



Термодинамические процессы, составляющие цикл многоступенчатого компрессора:

- 0 – 1 – всасывание газа в I ступень, процесс считаем изобарным $P=\text{const}$
- 1 – 2 – адиабатное сжатие в I ступени компрессора
- 2 – 3 – изобарное охлаждение сжатого газа после I ступени
- 3 – 4 – адиабатное сжатие во II ступени
- 4 – 5 – изобарное охлаждение газа после II ступени
- 5 – 6 – адиабатное сжатие в III ступени
- 6 – 7 – изобарное охлаждение после III ступени и нагнетание газа

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОДНО- И 3-Х СТУПЕНЧАТОГО СЖАТИЯ ПО ЗАТРАТАМ РАБОТЫ



Работа при одноступенчатом сжатии равна площади

Работа для 3-х ступенчатого сжатия равна площади

F - A18D

F - A1234567D

При одноступенчатом сжатии энергии тратится примерно на 30% больше. Вывод – многоступенчатое сжатие приближает процесс к изотермическому, энергетически выгодному.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ДЛЯ МНОГО- СТУПЕНЧАТОГО СЖАТИЯ

$$\lambda = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_4}{P_3}$$

$$\lambda^3 = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_3}{P_2} \cdot \frac{P_4}{P_3} = \frac{P_4}{P_1}$$

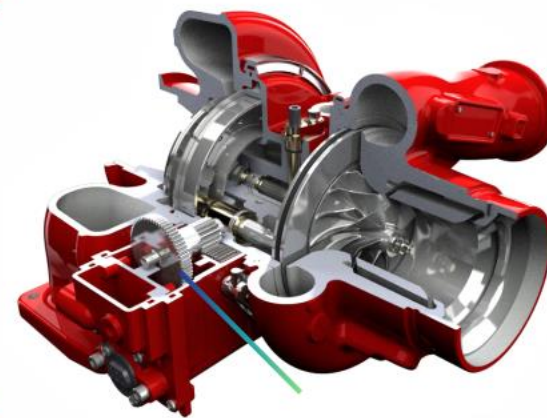
или

$$\lambda^3 = \sqrt[3]{\frac{P_4}{P_1}}$$

Для общего случая - m числа ступеней:

$$\lambda^m = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_4}{P_2} \cdot \frac{P_6}{P_4} \dots \lambda = \sqrt[m]{\frac{P_k}{P_H}}$$

ОБОРУДОВАНИЕ КОМПРЕССИОННОГО ОТДЕЛЕНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРЫ



АППАРАТЫ ВОЗДУШНОГО И ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ



ВОПРОСЫ

- Почему расчет затрат энергии ведут на адиабатный процесс?
- Как изменяются параметры газа – объемный расход и температура при политропном сжатии?
- Возможно ли на практике провести изотермический процесс сжатия газа? Почему?
- Почему в производстве аммиака используют турбокомпрессоры, а не поршневые?

