
Термодинамика и теплопередача

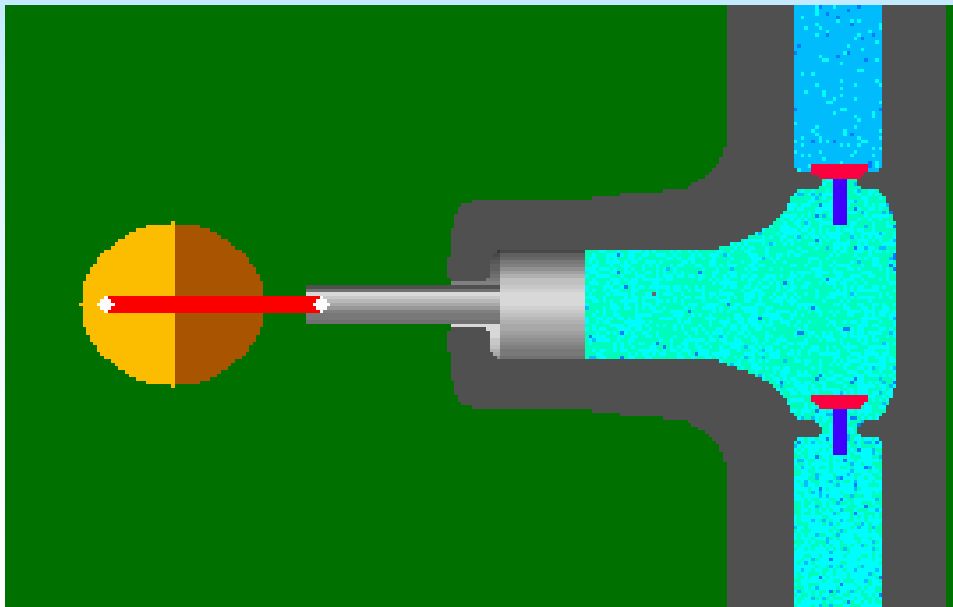
лектор

Зиякаев Григорий Ракитович

Лекция 7

Содержание

- Процессы компрессоров



Общие сведения

Компрессоры представляют собой машины для сжатия и перемещения газообразных агентов, например, воздуха, кислорода, водорода, природного газа и т. п.

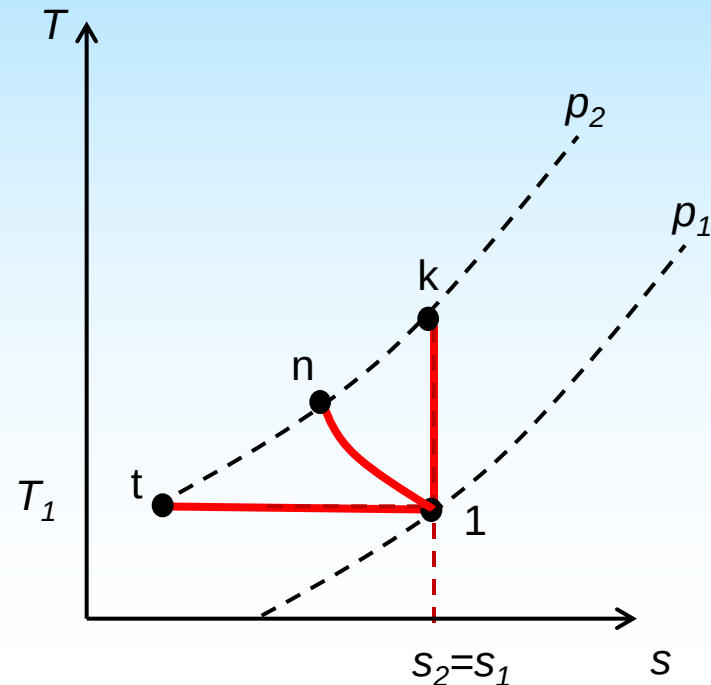
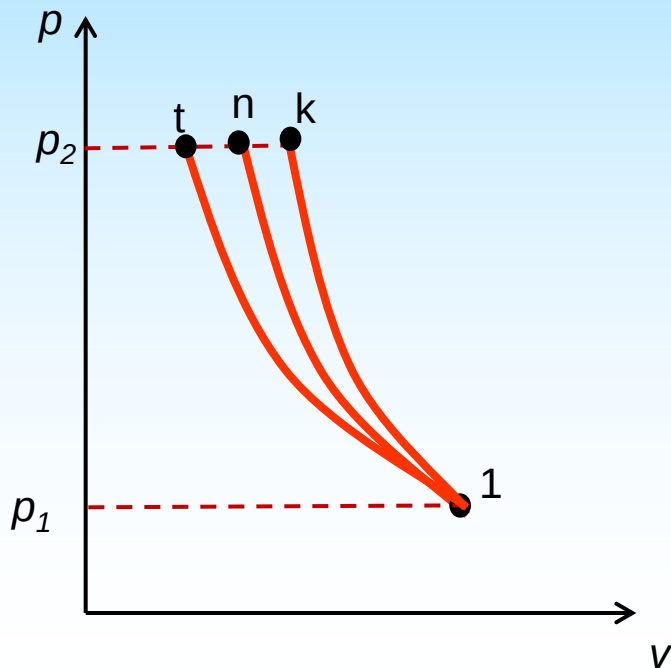
Компрессор – основа компрессорной установки, в состав которой помимо него входят вспомогательные межступенчатые аппараты, привод, газовые трубопроводы и различные системы (смазочные, охлаждения и регулирования).

Процессы компрессоров

Компрессоры применяют для сжатия газов и паров.

Сжатие может быть:

- Изотермическим
- Адиабатным
- Политропным



Процессы компрессоров

Изотермическое сжатие

Затрачиваемая на сжатие работа и отводимая теплота:

$$q_{отв} = l = R \cdot T_1 \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Конечная температура:

$$T_2 = T_1$$

Хотя, затрачиваемая работа на сжатие наименьшая, изотермическое сжатие в охлаждаемых компрессорах не применяют, т.к. это потребовало бы очень интенсивного охлаждения при бесконечно большой поверхности теплообмена.

Процессы компрессоров

Адиабатное сжатие

Затрачиваемая на сжатие работа и отводимая теплота:

$$l = \frac{k}{k-1} R (T_2 - T_1), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_{отв} = 0$$

Конечная температура:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Процессы компрессоров

Политропное сжатие

Во всех охлаждаемых компрессорах применяется политропное сжатие с показателем политропы $1 < n < k$

Затрачиваемая на сжатие работа и отводимая теплота:

$$l = \frac{n}{n-1} R (T_2 - T_1), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_{\text{отв}} = c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)$$

Конечная температура:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Процессы компрессоров

Многоступенчатое сжатие

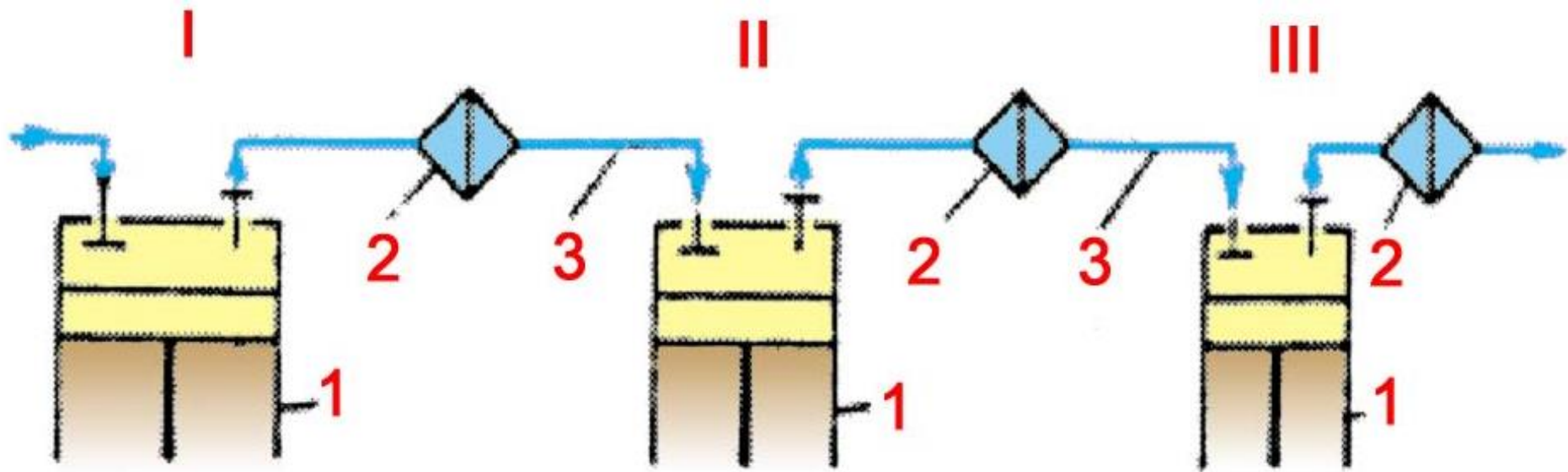
Степень повышения давления в компрессоре

$$\beta = \frac{p_2}{p_1}$$

При $\beta > 10$ в компрессорах применяют многоступенчатое сжатие с охлаждением газа между ступенями в промежуточных охладителях (теплообменниках, охлаждаемых водой)

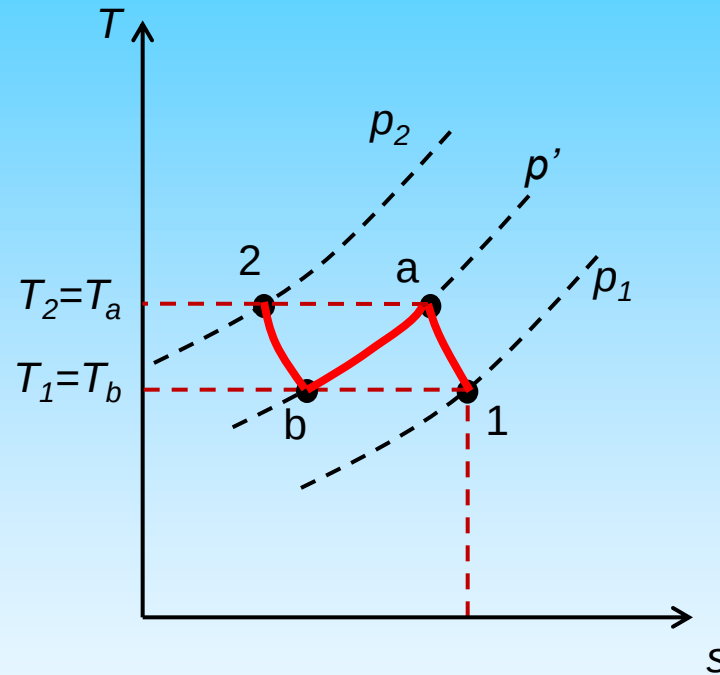
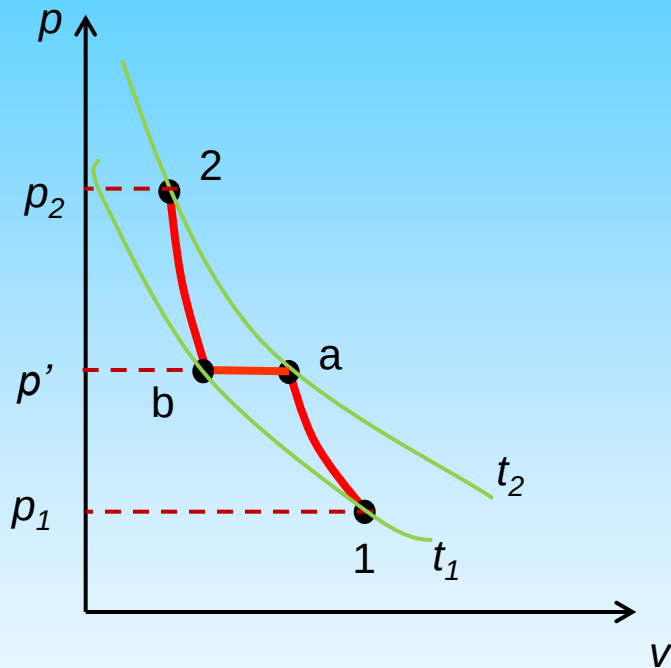
Многоступенчатое сжатие

Схема поршневого многоступенчатого компрессора



1 - цилиндры ступеней сжатия I - III; 2 - промежуточные
охлаждатели; 3 - трубопроводы

Процессы компрессоров



1-а, б-2 – процессы сжатия газа в 1й и 2й ступенях компрессора
а-б – процесс охлаждения газа в промежуточном охладителе

Процессы компрессоров

Степени повышения давления в компрессоре по ступеням

$$\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = \sqrt[n]{\frac{p_2}{p_1}}$$

Равенство степеней повышения давления в ступенях дает:

- одинаковую работу на каждую ступень
- одинаковую температуру газа на выходе каждой ступени
- одинаковую теплоту, отводимую в каждой ступени
- одинаковую теплоту, отводимую в каждом промежуточном охладителе

Процессы компрессоров

Задача 1

Степень повышения давления трехступенчатого компрессора $\beta=65$.

Начальное давление $p_1 = 0,15$ МПа. Чему равно давление после второй ступени компрессора?

Задача 2

Степень повышения давления в одной ступени компрессора $\beta_1=4,4$.

Начальная температура газа $t_1 = 25$. Чему равна конечная температура газа, если сжатие происходит по политропе с показателем $n = 1.27$?

Расчет компрессора

Компрессор, производительностью V_1 , м³/час, состоящий из m ступеней, сжимает газ от давления P_1 до P_2 . Сжатие в ступенях происходит по политропе с показателем n . Промежуточное давление выбрано оптимально, а охлаждение во всех теплообменниках производится до начальной температуры T_1 , К. Охлаждающая вода, прокачиваемая через рубашки цилиндров и теплообменники, нагревается на $\Delta t = 13$ °С.

Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 4

Таблица 4

Последняя цифра шифра	Газ	μ , кг/кмоль	V_1 м ³ /час	n	m , число ступеней	Предпоследняя цифра шифра	P_1 , МПа	T_1 , К	P_2 , МПа
0	гелий He	4	3000	1,35	3	0	0,12	293	1,92
1	воздух	29	3500	1,28	2	1	0,2	311	3,2
2	азот N ₂	28	4000	1,35	4	2	0,08	272	1,28
3	углекисл. газ CO ₂	44	5000	1,2	3	3	0,14	423	2,24
4	водород H ₂	2	2000	1,21	2	4	0,50	372	8,0
5	кислород O ₂	32	4000	1,31	4	5	0,24	324	3,84
6	окись углерода CO	28	5000	1,25	3	6	0,16	401	2,56
7	метан CH ₄	16	3500	1,19	2	7	0,06	346	0,96
8	азот N ₂	28	6000	1,3	4	8	3	293	48
9	гелий He	4	2500	1,4	3	9	0,04	311	0,64

Найти общую мощность, затрачиваемую на сжатие в компрессоре, и расход охлаждающей воды. Сравнить найденную мощность с мощностью, которая затрачивается на сжатие в одноступенчатом компрессоре с процессом сжатия по политропе с тем же показателем n . Теплоемкость в расчетах считать постоянной. Перед расчетом изобразить принципиальную схему компрессора, а также процессы сжатия изобразить в $p-v$ и $T-s$ – диаграммах.