

Задание №3. РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

3.1. Общие сведения

Компрессором называется устройство, предназначенное для сжатия (повышения давления) и перемещения газов и паров. Компрессор — это газовая машина, которая в отличие от двигателей не совершает работу, а затрачивает ее. Компрессоры используются практически во всех отраслях производства. Компрессоры имеют большое разнообразие конструкций и типов.

Компрессоры бывают поршневые и винтовые, одноступенчатые и многоступенчатые, с естественным и искусственным охлаждением и т.д.

В одноступенчатом (одноцилиндровом) компрессоре степень сжатия $Z = p_2/p_1$ обычно не превышает значения 6...8. Если требуется сжать газ до высокого давления, используются многоступенчатые компрессоры (рис. 4). Повышение давления сжатия приводит к повышению температуры в конце сжатия, значение которой может превысить допустимые для технических целей значения. В многоступенчатых компрессорах между ступенями сжатия устанавливаются теплообменники, обеспечивающие охлаждение газа, сжатого в предыдущей ступени. [2]

На рисунке 4 изображена схема и диаграмма термодинамического цикла поршневого двухступенчатого компрессора. Всасывание газа (линия 6-1) в компрессор происходит при постоянном давлении $p_1 = const$ и при температуре T_1 . Далее происходит сжатие в первом цилиндре по политропе 1-2, в результате повышается давление до p_2 и температура до T_2 . После сжатия в первой ступени газ поступает в промежуточный охладитель, где он охлаждается при постоянном давлении $p_2 = p_3 = const$ до температуры T_1 (процесс 2-3). После охладителя газ поступает во вторую ступень и сжимается по политропе 3-4, при этом повышается давление до

p_3 и температура до T_2 . По линии 4–5 происходит вытеснение газа в концевой охладитель, где он снова охлаждается до температуры T_1 при постоянном давлении $p_4 = p_5 = const$.

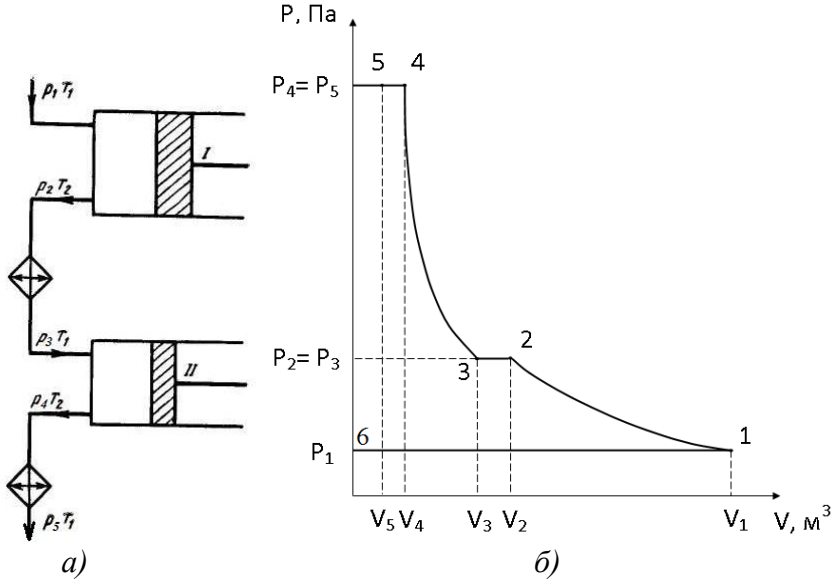


Рис. 4. Принципиальная схема (а) и диаграмма цикла (б) двухступенчатого поршневого компрессора

3.2. Порядок выполнения задания

Рассчитать параметры термодинамического цикла двухступенчатого поршневого компрессора.

Известными величинами являются следующие (см. приложение 1 и 2):

1. Сжимаемый газ _____

2. Производительность:

$$V_l = \text{_____ м}^3/\text{с}$$

3. Начальные параметры газа:

$$p_1 = \text{_____} * 10^6 \text{ Па}$$

$$t_1 = \text{_____} \text{ }^\circ\text{C}$$

4. Давление газа в конце второй ступени:

$$p_4 = \text{_____} * 10^6 \text{ Па}$$

5. Сжатие происходит по политропе с показателем:

$$n = \text{_____}$$

После сжатия в каждой ступени газ охлаждается до первоначальной температуры t_1 в промежуточном и конечном холодильниках.

Определить:

- 1) Абсолютное давление, удельный объем и абсолютную температуру во всех характерных точках цикла;
- 2) Расход охлаждающей воды, проходящей через рубашки цилиндров и через холодильники, если вода при этом нагревается на $\Delta T_B = \text{_____}$ К;
- 3) Работу, затраченную на привод компрессора;
- 4) Построить рабочий процесс компрессора в $p-v$ диаграмме.

Решение

1. Найдем промежуточное давление в ступенях компрессора p_2 и p_3 из условия, что отношение конечного давления к начальному давлению (степень повышения давления) Z в обоих цилиндрах одинаковы $Z = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}$:

$$a) p_2 = p_3 = \sqrt{p_4 \cdot p_1}, \text{ Па} \quad (3.1)$$

$$б) Z = \sqrt{\frac{p_4}{p_1}} \quad (3.2)$$

2. Найдем температуру в конце сжатия:

$$T_2 = T_1 \cdot Z^{\frac{n-1}{n}}, \text{ К} \quad (3.3)$$

где T_1 – абсолютная температура газа вначале сжатия, К:

$$T_1 = t_1 + 273, \text{ К} \quad (3.4)$$

3. Определяем объемы газов в характерных точках цикла за 1 сек. (см. рис. 4):

$$a) V_1 = \text{_____} \text{ м}^3/\text{с} \text{ (по условию)}$$

$$б) V_2 = \frac{V_1}{Z^n}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.5)$$

$$в) V_3 = \frac{V_1}{Z}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.6)$$

$$з) V_4 = \frac{V_1}{Z^n}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.7)$$

$$д) V_5 = \frac{V_1}{Z^2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.8)$$

где V_1 и V_3 – объемы газа в начале сжатия соответственно в первом и втором цилиндрах;

V_2 и V_4 – объемы газа в конце сжатия соответственно в первом и втором цилиндрах;

V_5 – объем газа, выходящего из компрессора

4. Определим массу газа m , проходящего через компрессор за 1 сек. из выражения:

$$p \cdot V = m \cdot R_{\Gamma} \cdot T \quad (3.9)$$

где R_{Γ} – газовая постоянная заданного газа:

$$R_{\Gamma} = \frac{8314}{\mu_{\Gamma}}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad (3.10)$$

где μ_{Γ} – молекулярная масса заданного газа (см. приложение 3).

Тогда получим:

$$m = \frac{p_1 \cdot V_1}{R_{\Gamma} \cdot T_1}, \text{ кг/с} \quad (3.11)$$

5. Найдем тепло, отводящееся водой от цилиндров и холодильников.

а) Найдем энергию нагрева газов при сжатии в цилиндре, которая отдается воде $Q_{\text{цил}}$:

$$Q_{\text{цил}} = m \cdot c_{\text{вГ}} \cdot \frac{n-k}{n-1} \cdot (T_2 - T_1), \text{ кДж/с} \quad (3.12)$$

где k – коэффициент адиабаты

$$k = \frac{c_{\text{рГ}}}{c_{\text{вГ}}} > 1 \quad (3.13)$$

где $c_{\text{рГ}}$ – изобарная массовая теплоемкость заданного газа, кДж/кг·К (см. приложение 4);

$c_{vг}$ – изохорная массовая теплоемкость заданного газа, кДж/кг·К (см. приложение 4)

б) Найдем энергию газов, отдаваемую воде при охлаждении в холодильнике $Q_{ХОЛ}$:

$$Q_{ХОЛ} = m \cdot c_{pг} \cdot (T_2 - T_1), \text{ кДж/с} \quad (3.14)$$

в) Найдем общее количество тепла, отдаваемое воде во всем процессе, при этом $Q_{ЦИЛ}$ и $Q_{ХОЛ}$ подставить со знаком (+):

$$Q_{ОБЩ} = 2 \cdot (Q_{ЦИЛ} + Q_{ХОЛ}), \text{ кДж/с} \quad (3.15)$$

6. Найдем расход воды, необходимой для охлаждения компрессора m_B :

$$m_B = \frac{Q_{ОБЩ}}{c_B \cdot \Delta T_B}, \text{ кг/с} \quad (3.16)$$

где $c_B = 4,2$ кДж/(кг·К) – теплоемкость воды

7. Найти работу, затраченную на сжатие газа в компрессоре.

а) работа в первой ступени:

$$l_1 = \frac{n}{n-1} p_1 \cdot v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right], \text{ Дж} \quad (3.17)$$

б) работа во второй ступени:

$$l_2 = \frac{n}{n-1} p_3 \cdot v_3 \left[\left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right], \text{ Дж} \quad (3.18)$$

Работа в первой ступени должна равняться работе во второй ступени $l_1 \approx l_2$.

в) общая работа, затраченная на привод компрессора:

$$l_{ОБЩ} = l_1 + l_2, \text{ Дж} \quad (3.18)$$

8. Построить термодинамический цикл компрессора в p - v диаграмме со своими значениями параметров p и v (см. рис. 4б).