

1. В конденсаторе паровой турбины поддерживается абсолютное давление $P = 0.004 \text{ МПа}$. Каковы показания вакуумметра, проградуированного в $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ и мм.рт.ст, если показания барометра составляют 734мм.рт.ст?

Решение. Исходные данные:

$$P = 0.004 \text{ МПа} = 4000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 30 \text{ мм.рт.ст}$$

$$P_0 = 734 \text{ мм.рт.ст} = 97859 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0.097859 \text{ МПа}$$

Показания вакуумметра:

$$\Delta P = P_0 - P = 93859 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 704 \text{ мм.рт.ст}$$

2. Воздух, заключенный в баллоне емкостью 0.9 м^3 , выпускают в атмосферу. Начальная температура воздуха 27°C . Определите массу выпущенного воздуха, если начальное давление составляло 93.2бар, конечное давление 42.2бар, а температура воздуха снизилась на 17°C .

Решение. Согласно закону Менделеева-Клайперона:

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

Молярная масса воздуха $M = 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$, газовая постоянная $R = 8.31$, температура в Кельвинах.

Объем баллона постоянен, выразим массы воздуха в баллоне в начальный и конечный момент:

$$m_1 = \frac{P_1 V \cdot M}{RT_1} = \frac{93.2 \cdot 10^5 \cdot 0.9 \cdot 29}{8.31 \cdot (273.15 + 27)} = 97525 \text{ г} = 97.525 \text{ кг}$$

$$m_2 = \frac{P_2 V \cdot M}{RT_2} = \frac{42.2 \cdot 10^5 \cdot 0.9 \cdot 29}{8.31 \cdot (273.15 + 27 - 17)} = 46810 \text{ г} = 46.81 \text{ кг}$$

Масса выпущенного воздуха:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 50.715 \text{ кг}$$

3. Какой объем занимает 1 кг азота при температура 70°C и давлении $2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$?

Решение. Согласно закону Менделеева-Клайперона:

$$PV = \frac{m}{M}RT$$

Молярная масса азота $M = 14 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$, газовая постоянная $R = 8.31$, температура в Кельвинах.

$$V = \frac{mRT}{MP} = \frac{1000 \cdot 8.31 \cdot (273.15 + 70)}{28 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0.509 \text{ м}^3$$

4. 20 м^3 воздуха при давлении $p_1 = 8$ бар и температуре $t_1 = 18^\circ\text{C}$ сжимаются по политропе до $p_2 = 80$ бар, показатель политропы $n = 1.25$. Какую работу надо затратить для получения 1 м^3 сжатого воздуха и какое количество тепла отводится при сжатии?

Решение. Уравнение политропического процесса:

$$PV^n = \text{const}$$

Затраченная работа по определению:

$$L_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$$

Из уравнения политропы получим $P(V)$:

$$P_1 V_1^n = PV^n \rightarrow P(V) = \frac{P_1 V_1^n}{V^n}$$

Тогда работа:

$$L_{12} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{P_1 V_1^n}{V^n} dV = \frac{P_1 V_1^n}{n-1} \left(\frac{1}{V^{n-1}} \Big|_1^2 \right) = \frac{P_1 V_1}{n-1} \left(\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} - 1 \right)$$

$$L_{12} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 20}{1.25 - 1} \left(\left(\frac{20}{1} \right)^{1.25-1} - 1 \right) = 71.3 \text{ МДж}$$

Количество отведенного тепла:

$$Q = -mC_v \frac{n-\gamma}{n-1} (t_2 - t_1)$$

Массу определим из уравнения Менделеева-Клайперона:

$$m = \frac{P_1 V_1 M}{R \cdot t_1} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 29 \cdot 10^{-3}}{8.31 \cdot (273.15 + 18)} = 191.77 \text{ кг}$$

$$t_2 = \frac{mR}{P_2 V_2 M} = \frac{191.77 \cdot 8.31}{80 \cdot 10^5}$$

Температуру в конце сжатия из уравнения политропы:

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

$$P_1^{1-n} T_1^n = P_2^{1-n} T_2^n$$

$$t_2 = t_1 \sqrt[n]{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{n-1}} = 188.3^\circ C$$

C_v воздуха равна $717 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$, показатель адиабаты воздуха $\gamma = 1.4$.

$$Q = 14.05 \text{ МДж}$$