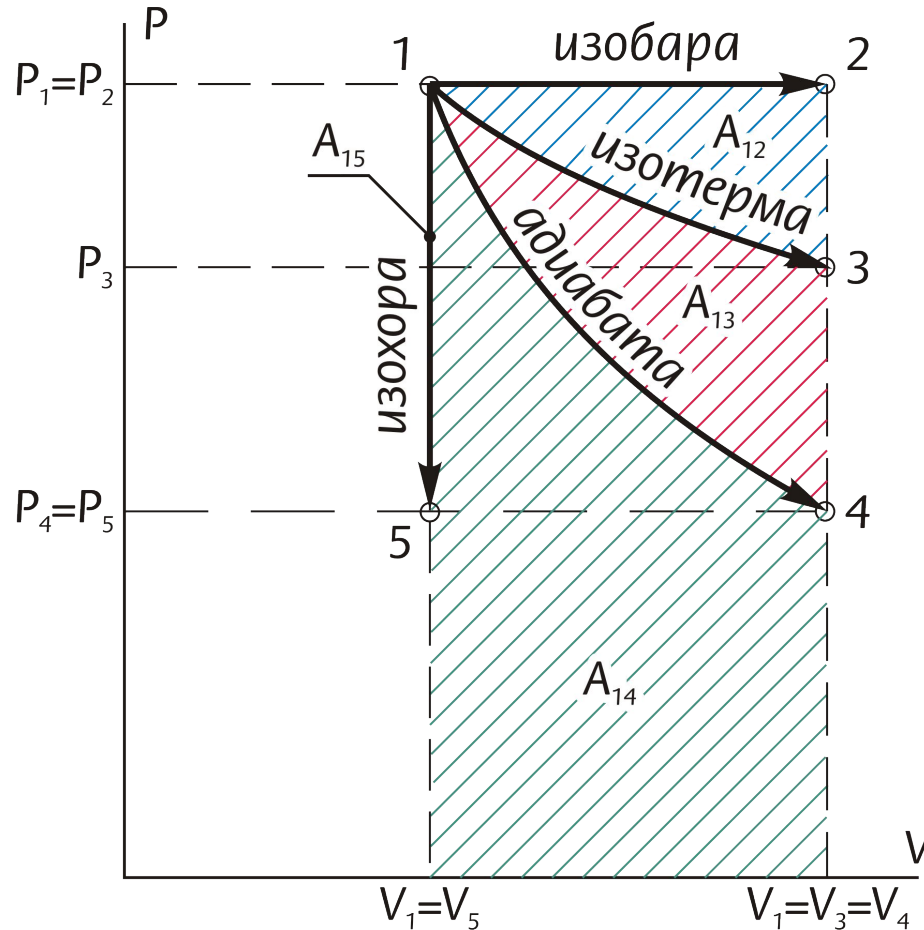


55 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Сравнительный анализ ТД - процессов

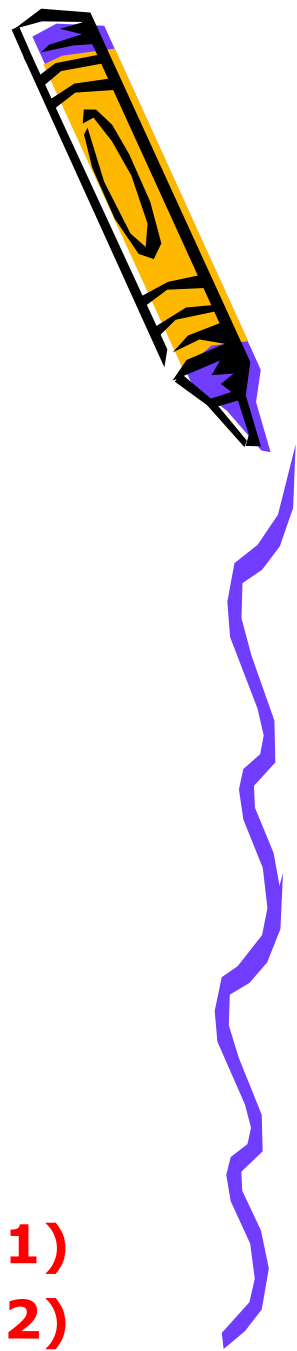


$$A_{12} > A_{13} > A_{14} > A_{15} = 0$$

$$A_{12} = A_p = p_1 \cdot \Delta V_{12} = p_1 \cdot (V_2 - V_1)$$

(1)

(2)



56 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- 1-ый закон ТД для изобарического процесса



изобарическое
нагревание и
расширение
газа

$$\Delta U = Q_p - A_p \quad (1)$$



изобарическое
сжатие и
охлаждение
газа

$$-\Delta U = A_p - Q_p \quad (2)$$



57 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Исследование изобарных процессов

$$Q_p = A_p + \Delta U \quad (1)$$

$$Q_p = C_p \cdot m \cdot \Delta T \quad (2)$$

В общем случае

$$\Delta U = \frac{f}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (3)$$

Для n – атомного
газа

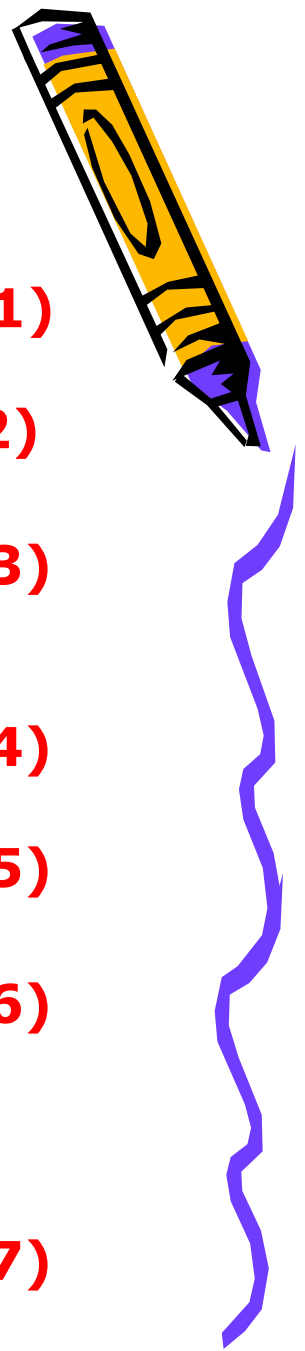
$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (n=1) \quad (4)$$

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (n=2) \quad (5)$$

$$\Delta U_3 = \frac{6}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \quad (n \geq 3) \quad (6)$$

Уравнение Менделеева – Клапейрона

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (7)$$



58 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Исследование изобарных процессов
Для изобарного

процесса

$$A_p = p \cdot \Delta V = \text{(8)} \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T$$

Подставляя (4)-(6) и (8) в (1), получим

$$Q_{p1} = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \text{ (9)} \quad (n=1)$$

$$Q_{p3} = \frac{7}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \text{ (10)} \quad (n=2)$$

$$Q_{p3} = \frac{8}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T \text{ (11)} \quad (n \geq 3)$$

Сравниваем (9) – (11) с (2) устанавливаем

$$C_{p1} = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad \text{(12)} \quad (n=1)$$

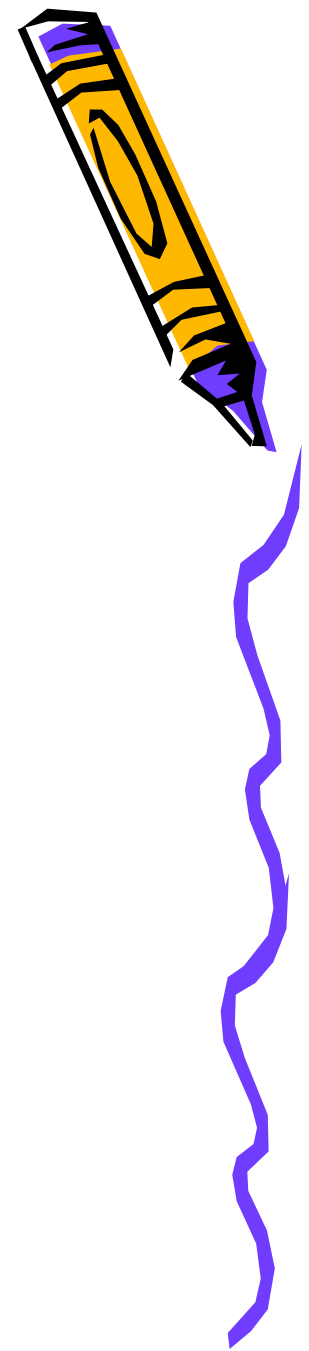
$$C_{p2} = \frac{7}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad \text{(13)} \quad (n=2)$$

$$C_{p3} = \frac{8}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad \text{(14)} \quad (n \geq 3)$$



59 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Исследование изобарных процессов

Формула Майера

$$C_p \cdot M = C_v \cdot M + R \quad (1)$$

$$C_{v1} = C_{p1} - \frac{R}{M} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad (n=1) \quad (2)$$

$$C_{v2} = C_{p2} - \frac{R}{M} = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad (n=2) \quad (3)$$

$$C_{v1} = C_{p1} - \frac{R}{M} = \frac{6}{2} \cdot \frac{R}{M} \quad (n \geq 3) \quad (4)$$

Показатели адиабаты

$$\kappa_1 = \frac{C_{p1}}{C_{v1}} = \frac{5}{3} \approx 1,67 \quad (n=1) \quad (5)$$

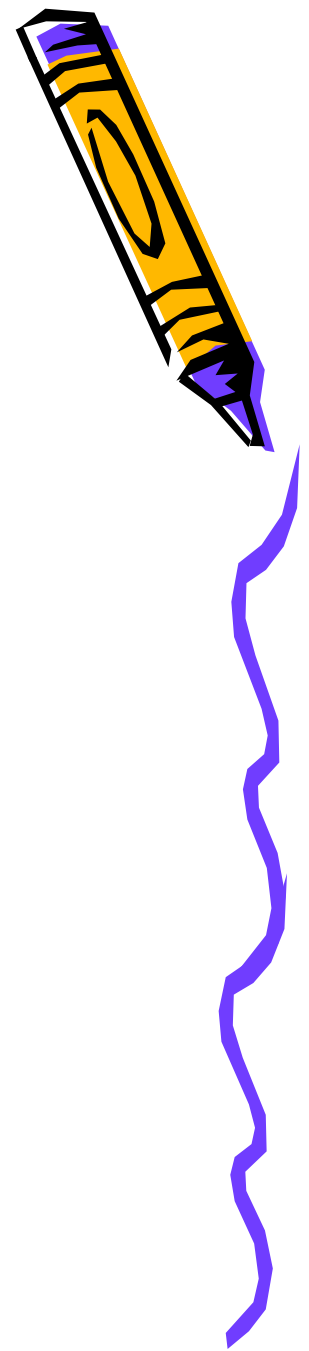
$$\kappa_2 = \frac{C_{p2}}{C_{v2}} = \frac{7}{5} = 1,4 \quad (n=2) \quad (6)$$

$$\kappa_3 = \frac{C_{p3}}{C_{v3}} = \frac{8}{6} \approx 1,33 \quad (n \geq 3) \quad (7)$$



60 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Исследование изобарных процессов

k и ∂ изобарических процессов расширения газов

$$\eta_1 = \frac{A_p}{Q_{p1}} = \frac{2}{5} = 0,4 \quad (n=1) \quad (8)$$

$$\eta_2 = \frac{A_p}{Q_{p2}} = \frac{2}{7} = 0,286 \quad (n=2) \quad (9)$$

$$\eta_3 = \frac{A_p}{Q_{p3}} = \frac{2}{8} = 0,25 \quad (n \geq 3) \quad (10)$$

Коэффициент тепловых потерь

$$\xi_1 = \frac{\Delta U_1}{Q_{p1}} = \frac{3}{5} = 0,6 \quad (n=1) \quad (11)$$

$$\xi_2 = \frac{\Delta U_2}{Q_{p2}} = \frac{5}{7} = 0,714 \quad (n=2) \quad (12)$$

$$\xi_3 = \frac{\Delta U_3}{Q_{p3}} = \frac{6}{8} = 0,25 \quad (n \geq 3) \quad (13)$$



61 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



Сравнительный анализ изобарных процессов таблица

| N п / п | Газ | Число степеней свободы f | Изменение внутренней энергии ΔU_i | Количес- тво теплоты Q_{pi} | Удельная теплоем-ть газа | | $\kappa_i =$ $= \frac{C_{pi}}{C_{vi}}$ | Коэффициенты | | | | При- меры газов |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|--|---------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------|---|
| | | | | | C_{pi} | C_{Vi} | | $\eta_i = \frac{A_p}{Q_{pi}}$ | $\xi_i = \frac{\Delta U_i}{Q_{pi}}$ | $\frac{U_i}{U_1}$ | $\frac{Q_{pi}}{Q_{p1}}$ | |
| | | | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 1 | одно- атомн. (n=1) | f=3 | $\Delta U_1 =$ $= \frac{3 m}{2 M} R \cdot \Delta T$ | $Q_{p1} =$ $= \frac{5 m}{2 M} R \cdot \Delta T$ | $C_{p1} =$ $= \frac{5R}{2M}$ | $C_{V1} =$ $= \frac{3R}{2M}$ | 1,67 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1 | H; N; He; Cl. |
| 2 | двух- атомн. (n=2) | f=5 | $\Delta U_2 =$ $= \frac{5 m}{2 M} R \cdot \Delta T$ | $Q_{p2} =$ $= \frac{7 m}{2 M} R \cdot \Delta T$ | $C_{p2} =$ $= \frac{7R}{2M}$ | $C_{V2} =$ $= \frac{5R}{2M}$ | 1,4 | 0,286 | 0,714 | 5/3 | 7/5 | H ₂ ; O ₂ ; N ₂ ; CO. |
| 3 | много- атомн. (n=3) | f=6 | $\Delta U_3 =$ $= \frac{6 m}{2 M} R \cdot \Delta T$ | $Q_{p3} =$ $= \frac{8 m}{2 M} R \cdot \Delta T$ | $C_{p3} =$ $= \frac{8R}{2M}$ | $C_{V3} =$ $= \frac{6R}{2M}$ | 1,33 | 0,25 | 0,75 | 2 | 8/5 | CO ₂ ; CH ₄ . |



62 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для получения наибольшей работы в тепловых машинах реализация в них изобарных процессов является предпочтительной в сравнении с изотермическими и адиабатическими.



63 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

2. Реализация изохорных процессов целесообразна только в циклических тепловых машинах для обеспечения быстрого изменения давления в рабочей камере (повышения давления при сжигании топлива и понижения давления при выхлопе продуктов сгорания). При изохорных процессах работа не совершается.



64 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики

- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

3. Удельные теплоемкости газов (одноатомных, двухатомных и многоатомных) при постоянном давлении (C_p) и постоянном объеме (C_v) обратно пропорциональны молярным массам газов.



65 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



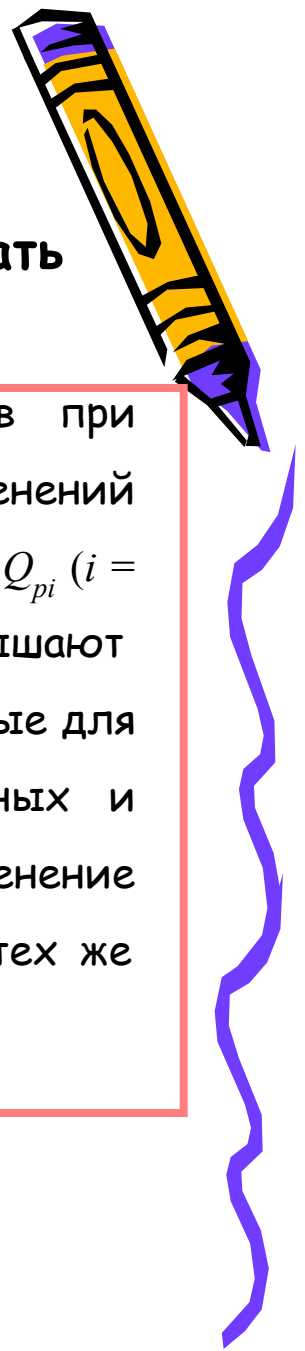
- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

4. Показатели адиабаты $K = \frac{C_p}{C_v}$ не зависят от конкретного химического состава газа и являются константами: для одноатомных идеальных газов $K_1 = \frac{C_{p1}}{C_{v1}} \approx 1,67$;
для двухатомных идеальных газов $K_2 = \frac{C_{p2}}{C_{v2}} \approx 1,4$.
для трехатомных и многоатомных идеальных газов $K_3 = \frac{C_{p3}}{C_{v3}} \approx 1,33$.



66 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

5. Для любых двухатомных, трехатомных и многоатомных газов при протекании а них изобарических процессов в условиях одинаковых изменений температур изменения внутренних энергий ($i = 2,3$) и количества теплоты Q_{pi} ($i = 2,3$), соответственно, для двухатомных газов на 67% и 40% превышают изменения внутренней энергии ΔU_i и количества теплоты Q_{pi} , наблюдаемые для одноатомных газов при тех же условиях; а также для трехатомных и многоатомных газов превышают, соответственно, в 2 раза и на 60% изменение внутренней энергии ΔU_i и количества теплоты Q_{pi} , наблюдаемые при тех же изменениях температур (ΔT) для одноатомных газов.



67 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

6. Коэффициенты полезного действия тепловых машин, в которых реализуется изобарические процессы расширения газов, не зависят от конкретного химического состава рабочего тела и составляют $\eta_1 = 40\%$ при изменении в качестве рабочего тела одноатомных идеальных газов, $\eta_2 = 28,6\%$ при применении двухатомных идеальных газов, и $\eta_3 = 25\%$ при применении трехатомных и многоатомных идеальных газов.



68 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

7. Коэффициенты тепловых потерь тепловых машин, в которых реализованы изобарические процессы расширения газов составляют, соответственно, для одноатомных $\xi_1 = 60\%$, двухатомных $\xi_2 = 71,4\%$, а также трехатомных и многоатомных газов $\xi_3 = 75\%$, причем они не зависят от конкретного химического состава рабочего тела (газа).



69 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики



- Из анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

8. Применение в качестве рабочего тела тепловых машин (ТМ), в которых реализуются изобарические ТД - процессы, одноатомных газов ($n = 1$) является предпочтительным нежели применение n - атомных газов ($n \geq 2$) при тех же условиях, т.к. при одинаковых условиях коэффициенты полезного действия этих тепловых машин в первом случае получаются максимальными, а коэффициенты тепловых потерь - минимальными.

