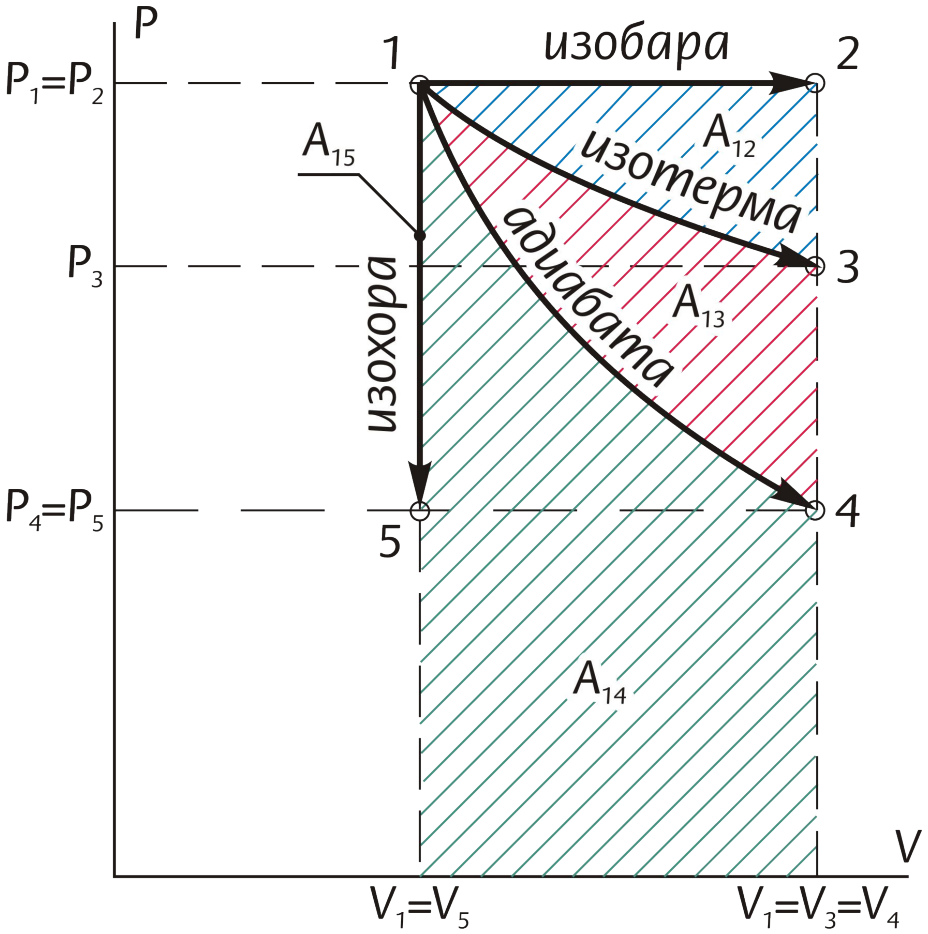
55 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики

- **Сравнительный анализ ТД - процессов**



$$A_{12} > A_{13} > A_{14} > A_{15} = 0 \quad (1)$$

$$A_{12} = A_p = p_1 \cdot \Delta V_{12} = p_1 \cdot (V_2 - V_1) \quad (2)$$

56 III ТЕРМОДИНАМИКА
ТЕМА 5 Основы термодинамики

- **1-ый закон ТД для изобарического процесса**

изобарическое нагревание и расширение газа

$$\Delta U = Qp - Ap \qquad (1)$$

изобарическое сжатие и охлаждение газа

$$-\Delta U = Ap - Qp \qquad (2)$$

57 III ТЕРМОДИНАМИКА
ТЕМА 5 Основы термодинамики

- **Исследование изобарных процессов**

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

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

В общем случае

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

Для n – атомного газа

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

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

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

Уравнение Менделеева – Клапейрона

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

58 III ТЕРМОДИНАМИКА
ТЕМА 5 Основы термодинамики

- **Исследование изобарных процессов**

Для изобарного процесса

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

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

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

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

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

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

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

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

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

59 III ТЕРМОДИНАМИКА
ТЕМА 5 Основы термодинамики

- **Исследование изобарных процессов**

Формула Майера

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

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

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

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

Показатели адиабаты

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

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

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

60 III ТЕРМОДИНАМИКА
ТЕМА 5 Основы термодинамики

- **Исследование изобарных процессов**

k и $д$ изобарических процессов расширения газов

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

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

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

Коэффициент тепловых потерь

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

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

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

61 III ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 5 Основы термодинамики

- **Сравнительный анализ изобарных процессов** **таблица**

№ п/п	Газ	Число степеней свободы f	Изменение внутренней энергии ΔU_i	Количество теплоты Q_{pi}	Удельная теплоем-ть газа		$\kappa_i = \frac{C_{pi}}{C_{vi}}$	Коэффициенты				Примеры газов
					C_{pi}	C_{Vi}		$\eta_i = \frac{A_p}{Q_{pi}}$	$\xi_i = \frac{\Delta U_i}{Q_{pi}}$	$\frac{U_i}{U_1}$	$\frac{Q_{pi}}{Q_{p1}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	одно-атомн. (n=1)	f=3	$\Delta U_1 = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R\cdot\Delta T$	$Q_{p1} = \frac{5}{2}\frac{m}{M}R\cdot\Delta T$	$C_{p1} = \frac{5R}{2M}$	$C_{V1} = \frac{3R}{2M}$	1,67	0,4	0,6	1	1	H; N; He; Cl.
2	двух-атомн. (n=2)	f=5	$\Delta U_2 = \frac{5}{2}\frac{m}{M}R\cdot\Delta T$	$Q_{p2} = \frac{7}{2}\frac{m}{M}R\cdot\Delta T$	$C_{p2} = \frac{7R}{2M}$	$C_{V2} = \frac{5R}{2M}$	1,4	0,286	0,714	5/3	7/5	H_2; O_2; N_2; CO.
3	много-атомн. (n=3)	f=6	$\Delta U_3 = \frac{6}{2}\frac{m}{M}R\cdot\Delta T$	$Q_{p3} = \frac{8}{2}\frac{m}{M}R\cdot\Delta T$	$C_{p3} = \frac{8R}{2M}$	$C_{V3} = \frac{6R}{2M}$	1,33	0,25	0,75	2	8/5	CO_2; CH_4.

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 количеств теплоты Q_{pi} $(i = 2,3)$, соответственно, для двухатомных газов на 67% и 40% превышают изменения внутренней энергии ΔU_1 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_1 и количества теплоты Q_{p1}, 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.

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.