

**Лекция 2. Термодинамические
основы циклов двигателей
внутреннего сгорания**

Показатели эффективности циклов двигателей

Различают: *обратимый термодинамический цикл*
необратимый действительный цикл

Допущения принимаемые при рассмотрении термодинамического цикла:

1. Рабочее тело в цилиндре не меняется.
2. Теплота подводится извне в соответствии с выбранным характером его протекания.
3. Теплоемкость рабочего тела постоянна и не зависит от температуры.
4. Процессы сжатия и расширения протекают без теплообмена с внешней средой.


Термический КПД для обратимого термодинамического цикла равен:

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = \frac{l_{ц}}{q_1}$$

q_1 - количество теплоты, подведенной за цикл, Дж/кг;

$|q_2|$ - абсолютное количество теплоты, отданной за цикл холодному источнику, Дж/кг;

$l_{ц}$ - работа, совершаемая 1 кг рабочего тела за цикл, Дж/кг.

 Термическим КПД цикла (двигателя) называют отношение работы обратимого термодинамического цикла к теплоте подведенной к рабочему телу от горячего источника.

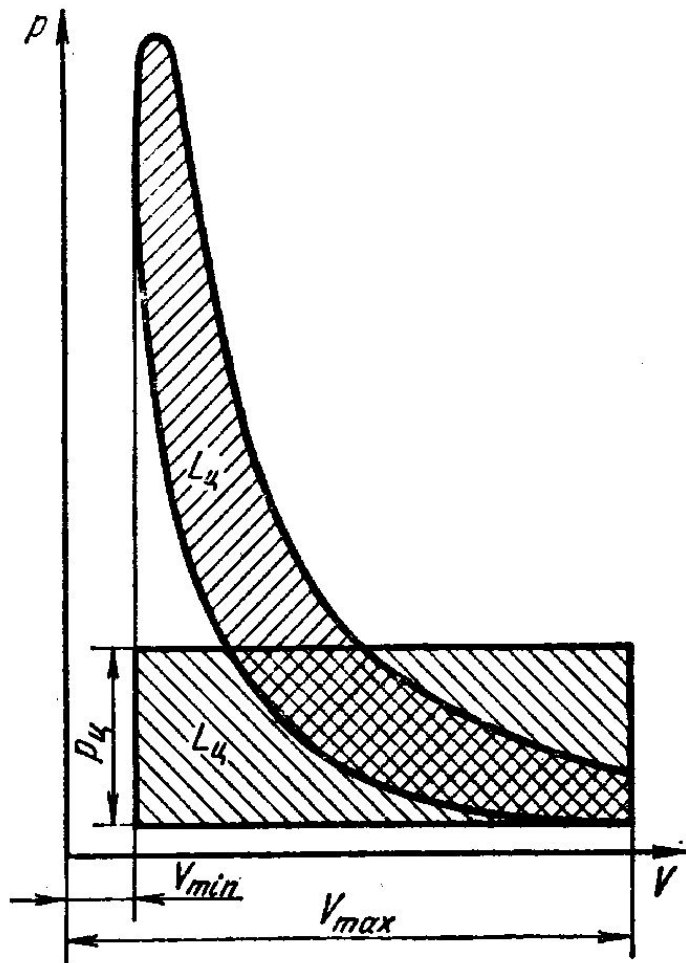
Среднее давление термодинамического цикла:

Работа замкнутого цикла:

$$L_{ц} = \oint p dV$$

Среднее давление за цикл:

$$p_{ц} = \frac{L_{ц}}{V_{\max} - V_{\min}}$$



Цикл теплового двигателя в координатах $p - V$



Средним давлением (обратимого) цикла поршневого двигателя называют отношение работы цикла к рабочему объему цилиндра.

Отношение работы действительного цикла к рабочему объему цилиндра называют средним индикаторным давлением.

**Обратимый
термодинамический
цикл поршневого
двигателя с
принудительным
воспламенением при**

$$V = \text{const}$$

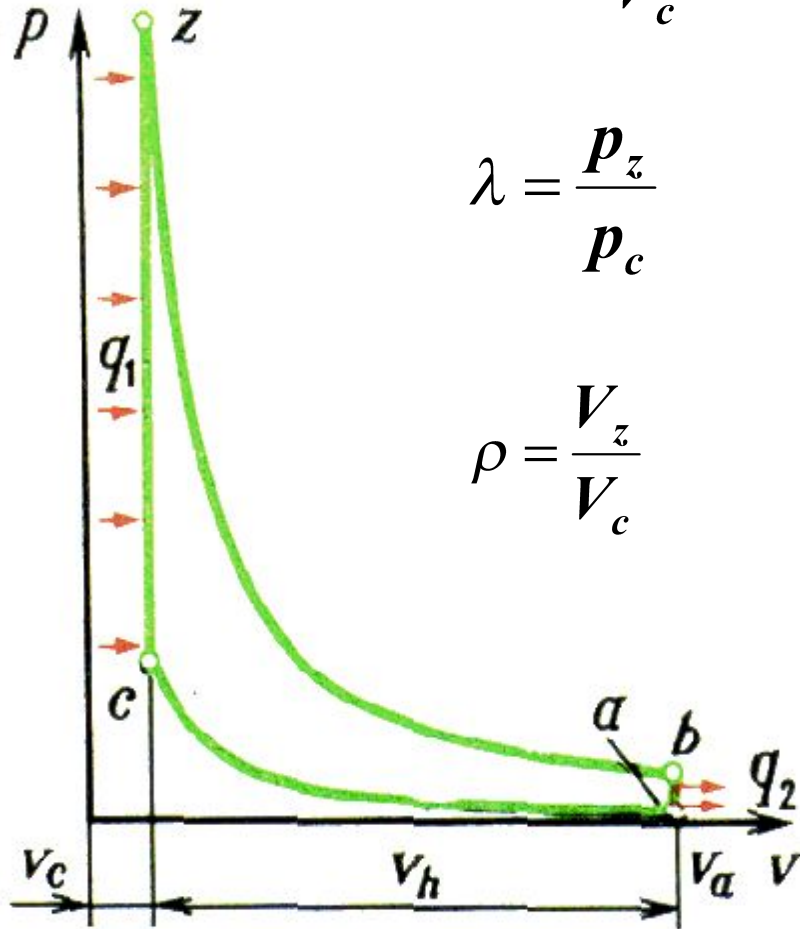
$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

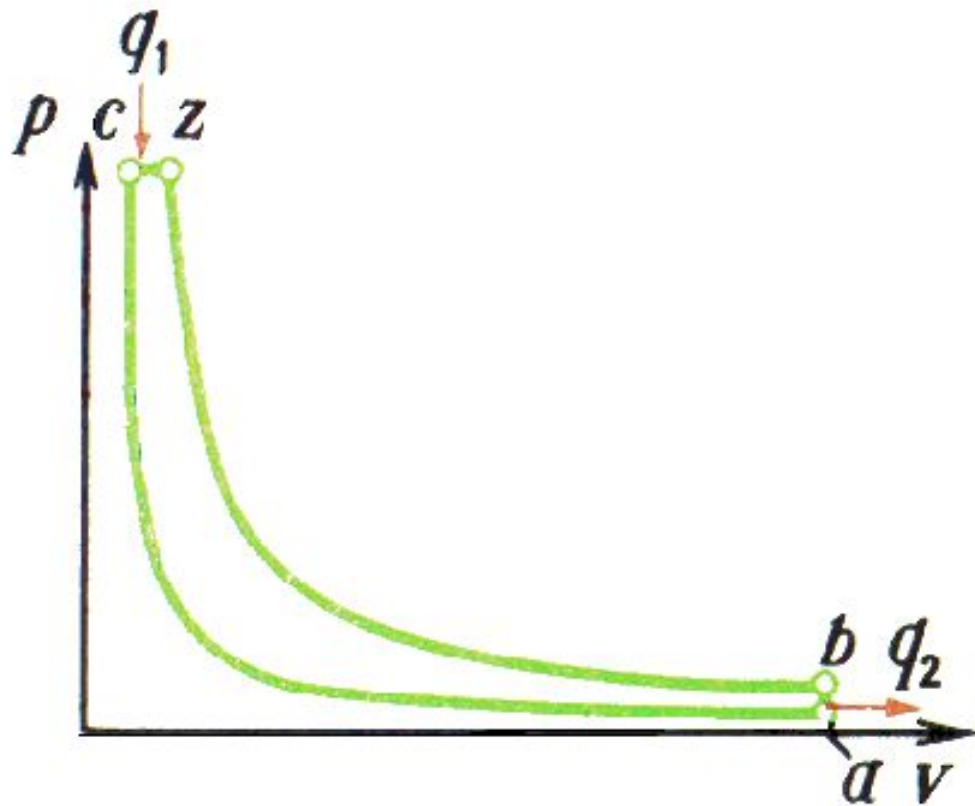
$$p_u = \frac{p_a}{k-1} \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \eta_t (\lambda - 1)$$

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c}$$

$$\rho = \frac{V_z}{V_c}$$

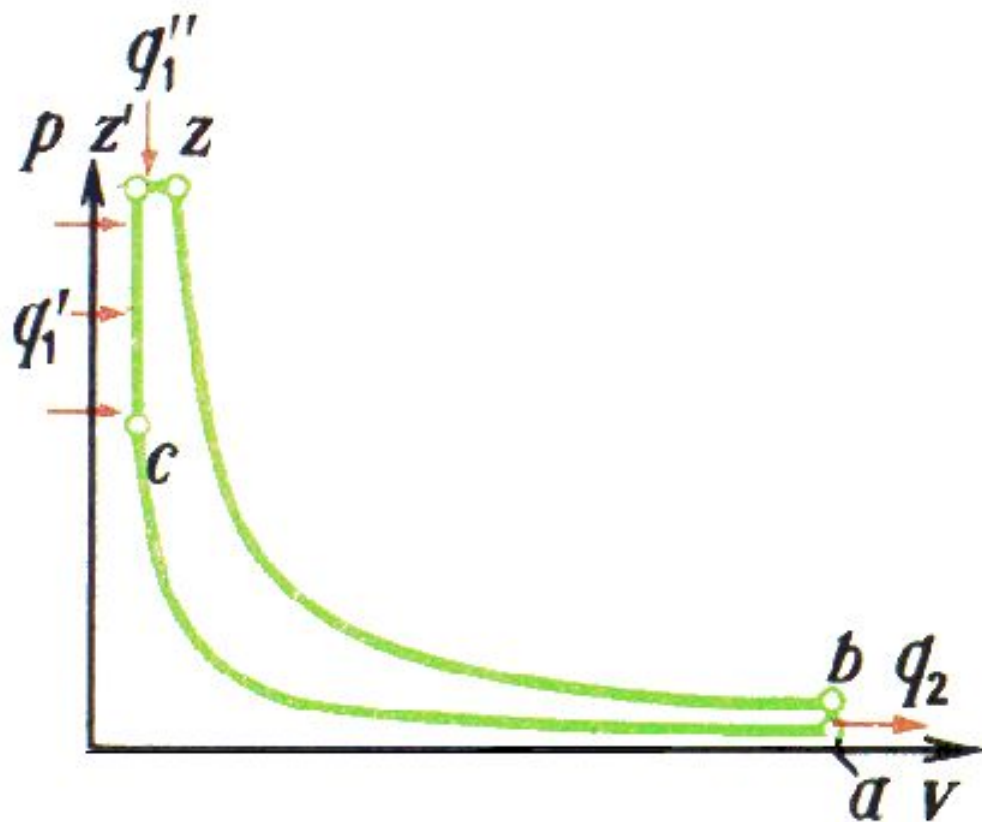




**Обратимый
термодинамический
цикл поршневого
двигателя с
воспламенением от
сжатия при $p = const$**

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}$$

$$p_u = \frac{p_a}{k-1} \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \eta_t k(\rho - 1)$$



**Обратимый
термодинамический
цикл поршневого
двигателя со
смешанным
подводом теплоты**

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}$$

$$P_u = \frac{P_a}{k-1} \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \eta_t [\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)]$$

Примеры циклов комбинированных двигателей

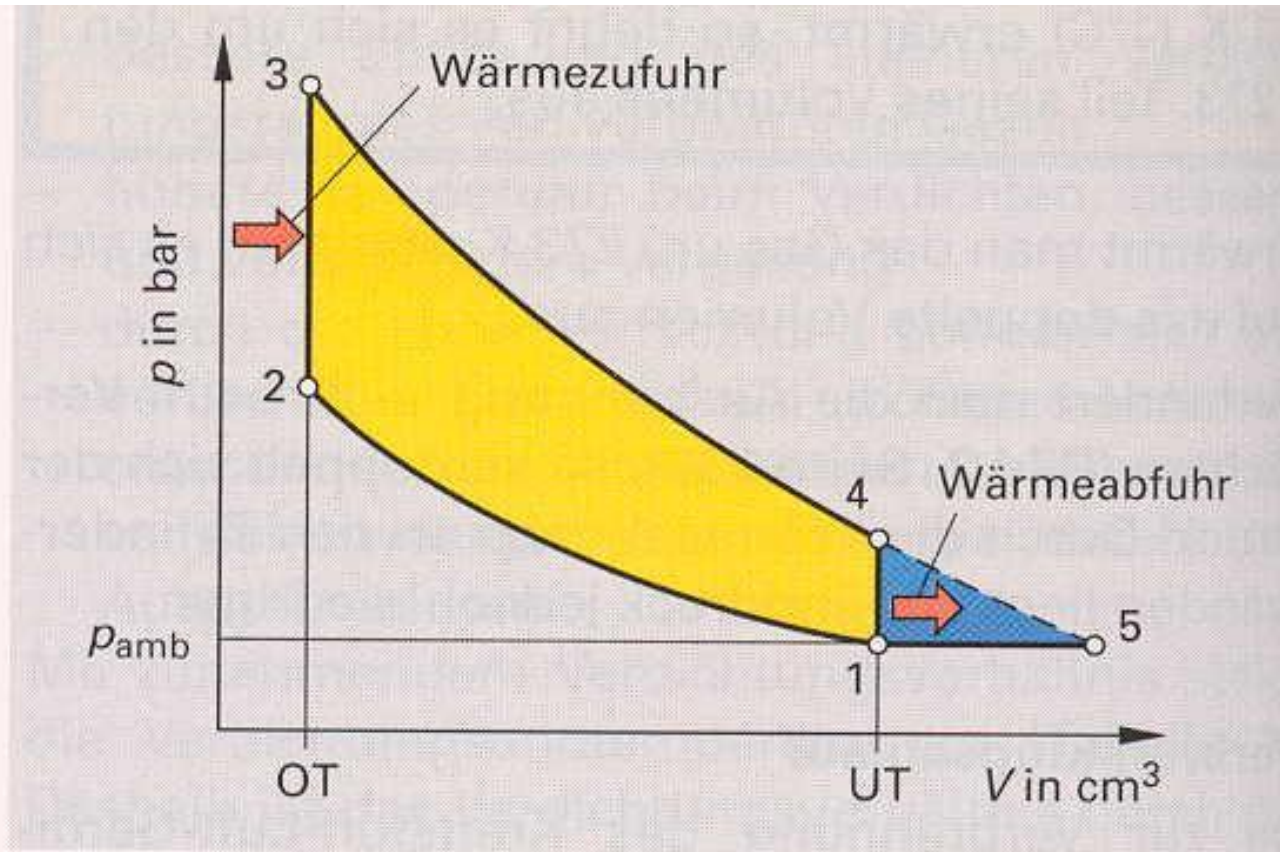
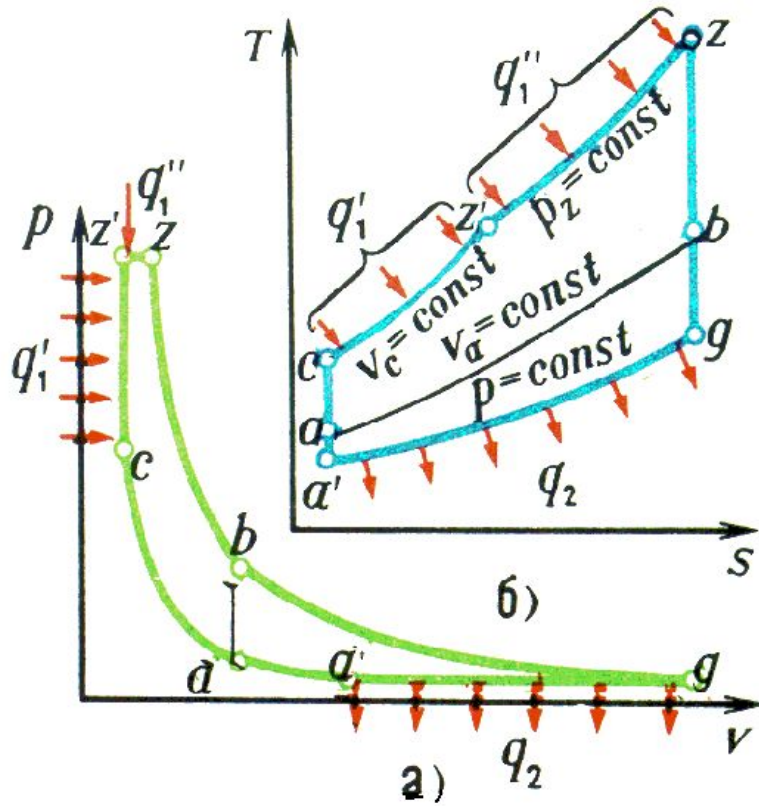
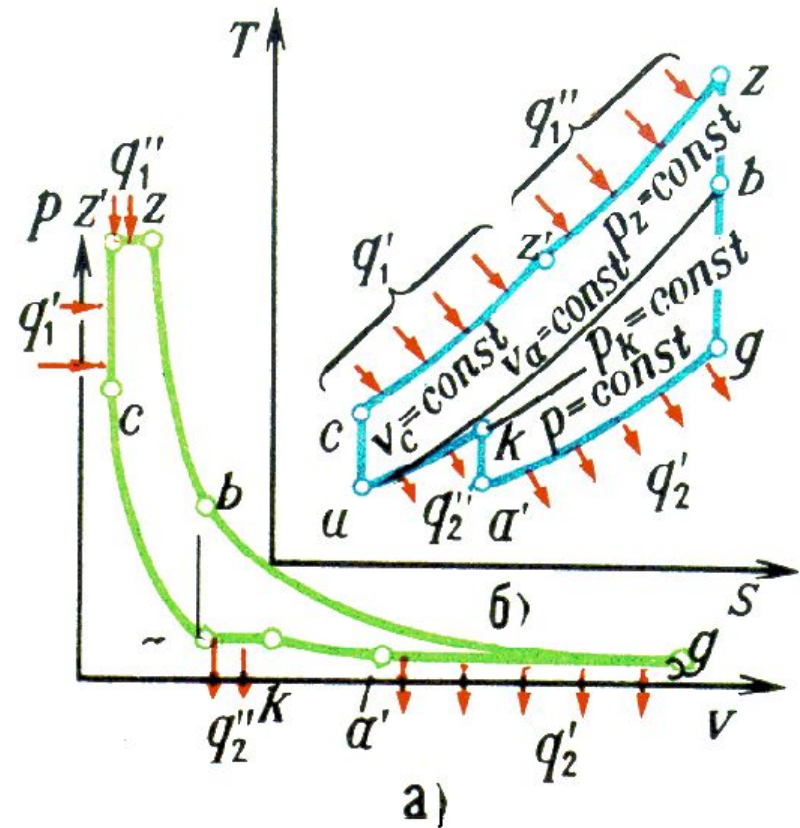


Bild 1: Idealer Gleichraumprozess (p-V-Diagramm)

Обратимый термодинамический цикл комбинированного двигателя:



с импульсной турбиной (без охладителя)



с охлаждением после компрессора

Принципиальная схема современного комбинированного двигателя внутреннего сгорания с турбокомпрессором и охладителем надвучного воздуха

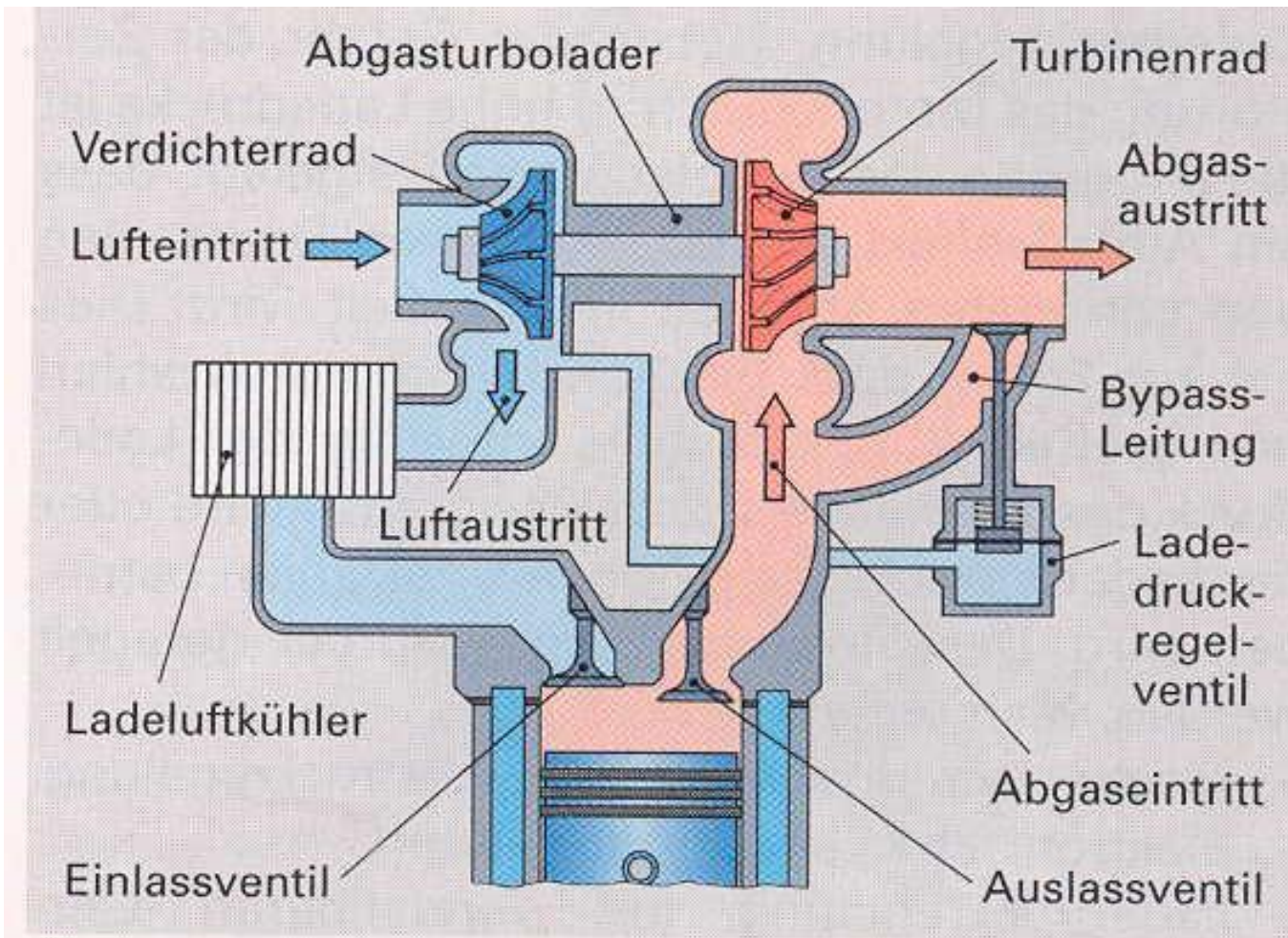
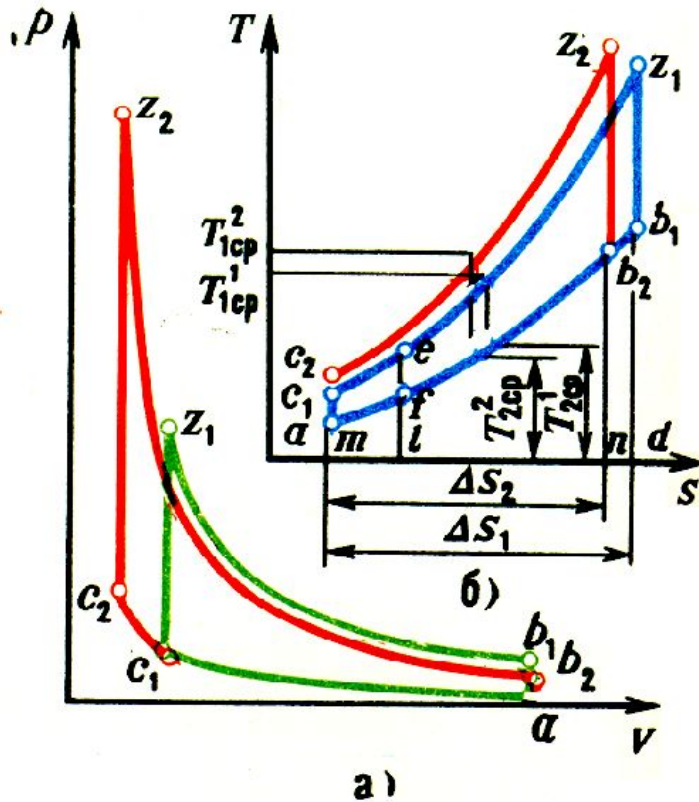


Bild 5: Schema eines Motors mit Abgasturbolader

Влияние различных факторов на термический КПД и среднее давление цикла $V = const$



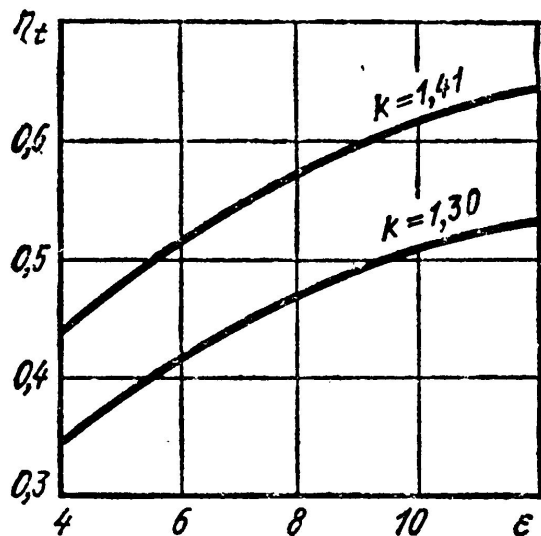
Два цикла поршневого двигателя с разной степенью сжатия:

$$\epsilon_1 = 5 \text{ и } \epsilon_2 = 10 \text{ при } q_1 = \text{const}, p_a = \text{const}, T_a = \text{const}$$

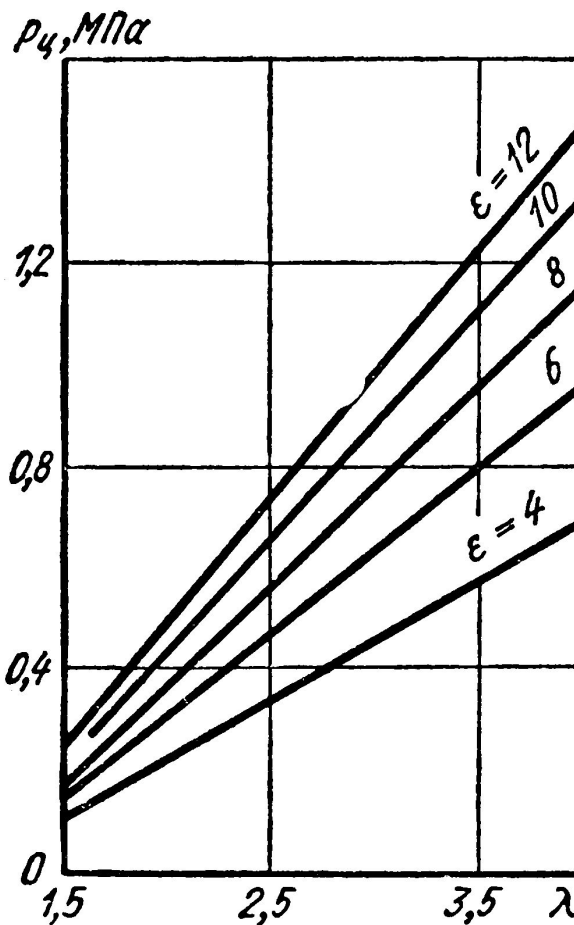


Термический КПД цикла с повышением степени сжатия возрастает вследствие того, что в цикле с более высокой степенью сжатия средняя температура в процессе подвода тепла выше.

Влияние различных факторов на термический КПД и среднее давление цикла $V = const$



Зависимость η_t цикла с подводом теплоты при $V = const$ от ϵ при двух значениях k

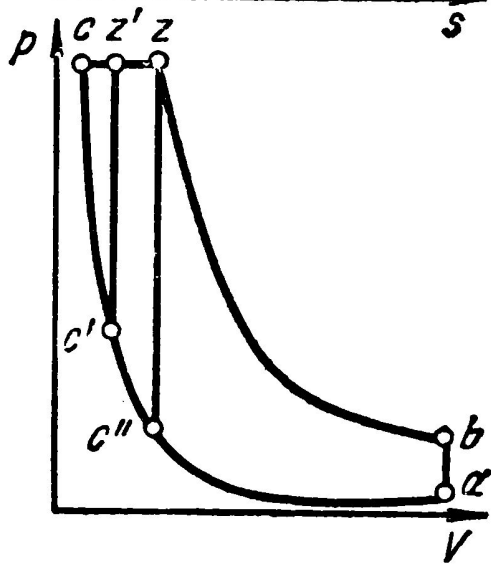
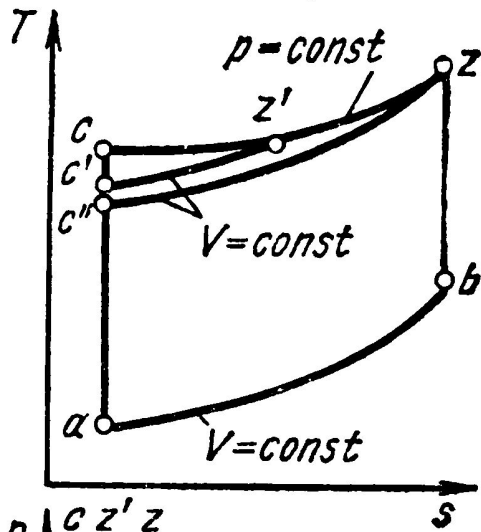


Зависимость давления $p_{ц}$ от λ при разных значениях ϵ

Циклы с различным типом подвода теплоты

Основные параметры циклов при одинаковом давлении p_z

Параметры	Подвод теплоты		
	при $V = \text{const}$ (цикла $ac'z'b$)	при $p = \text{const}$ (цикла $acz'b$)	частично при $V = \text{const}$ и $p = \text{const}$ (цикла $ac'z'z'b$)
Степень сжатия ϵ	4	14	7
Степень повышения давления λ	5,35	1	2,58
Степень предварительного расширения ρ	1	3,6	1,8
Термический КПД η_t	0,425	0,524	0,460



Циклы в координатах $p - V$ и $T - s$
при одинаковых p_z