

энергомашиностроение.

6

Лекция №20
Циклы двигателей
внутреннего сгорания

- Схема устройства и работа ДВС.
- Характеристики термодинамических циклов ДВС.
- Экономичность идеальных циклов.
- Изображение идеальных циклов ДВС в координатах sT .
- Исследование идеальных циклов ДВС.
- Экономичность реальных двигателей.

Схема устройства и работа двигателей внутреннего сгорания

Двигателем внутреннего сгорания называется поршневой двигатель, рабочим телом в котором являются продукты сгорания топлива (жидкого или газообразного), сгорающего непосредственно в объеме цилиндра.

На рис. 1 показаны схема устройства двигателя и его индикаторная диаграмма, т. е. графическое изображение зависимости давления в цилиндре p Н/м² от хода поршня h_m или от объема цилиндра V м³. Различают теоретическую и действительную индикаторные диаграммы.

Индикаторной диаграммой весьма наглядно представляется **рабочий** цикл двигателя, т. е. некоторое вполне закономерное чередование различных процессов, протекающих в рабочем объеме его цилиндра за один или два оборота вала. При этом следует иметь в виду, что в число процессов, составляющих рабочий цикл реального двигателя, входят процессы, в течение которых количество рабочего тела меняется (впуск и выпуск), а также процессы изменения химического состава вещества (горение). Поэтому рабочий цикл двигателя не следует смешивать с термодинамическим циклом, характеризуемым постоянным количеством 2 вещества не изменяющегося химического состава.

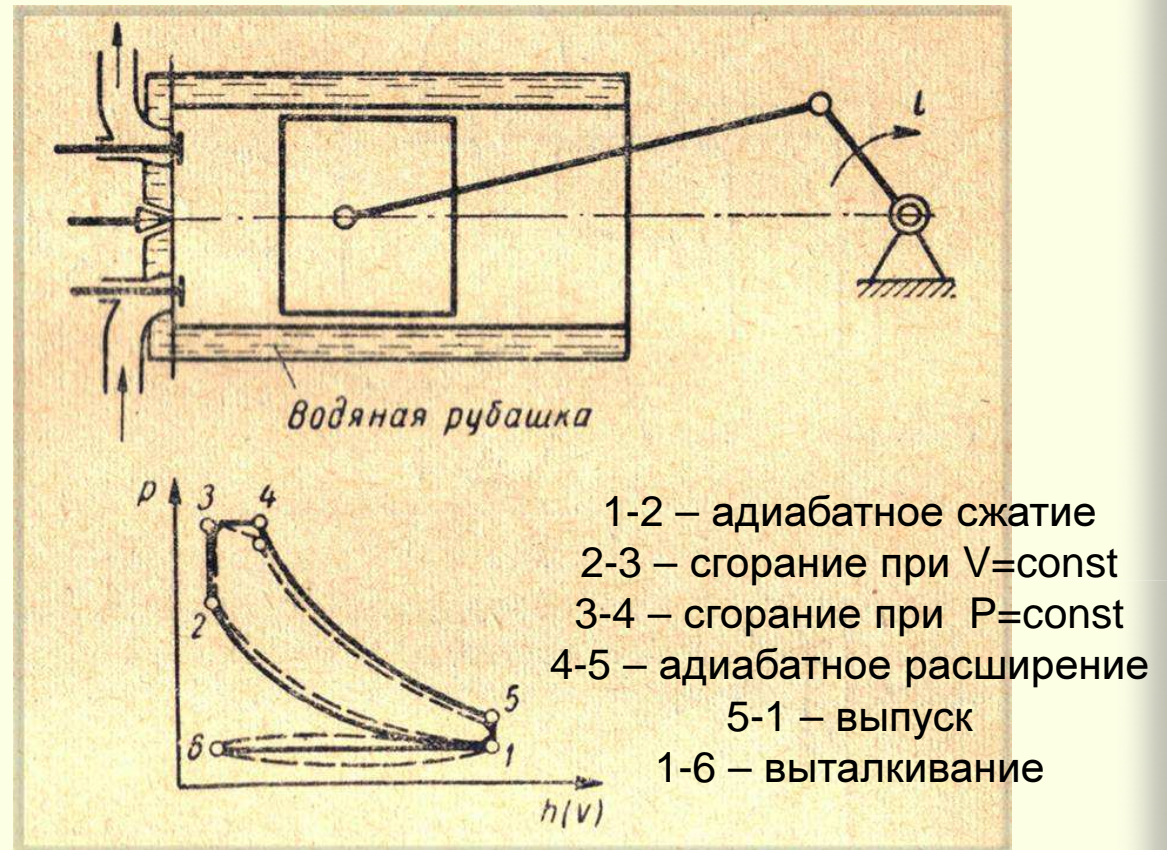


Рис. 1. Схема устройства четырехтактного ДВС и его индикаторная диаграмма (дизель)

Двигатели, схема которых показана на рис. 1, называют **двигателями с воспламенением от сжатия, или дизелями.**

Другого типа двигателями являются **двигатели с принудительным зажиганием.** В цилиндры такого двигателя подают уже готовую смесь топлива с воздухом, приготовленную вне цилиндра в специальных устройствах (карбюраторах). Подобные двигатели не нуждаются в топливных клапанах, но имеют особое устройство для зажигания горючей смеси в конце сжатия (электророзжигание). Если рабочий цикл двигателя совершается за четыре хода поршня (два оборота вала), то двигатель называют **четырёхтактным**, если — за два хода поршня (один оборот вала), двигатель называют **двухтактным.**

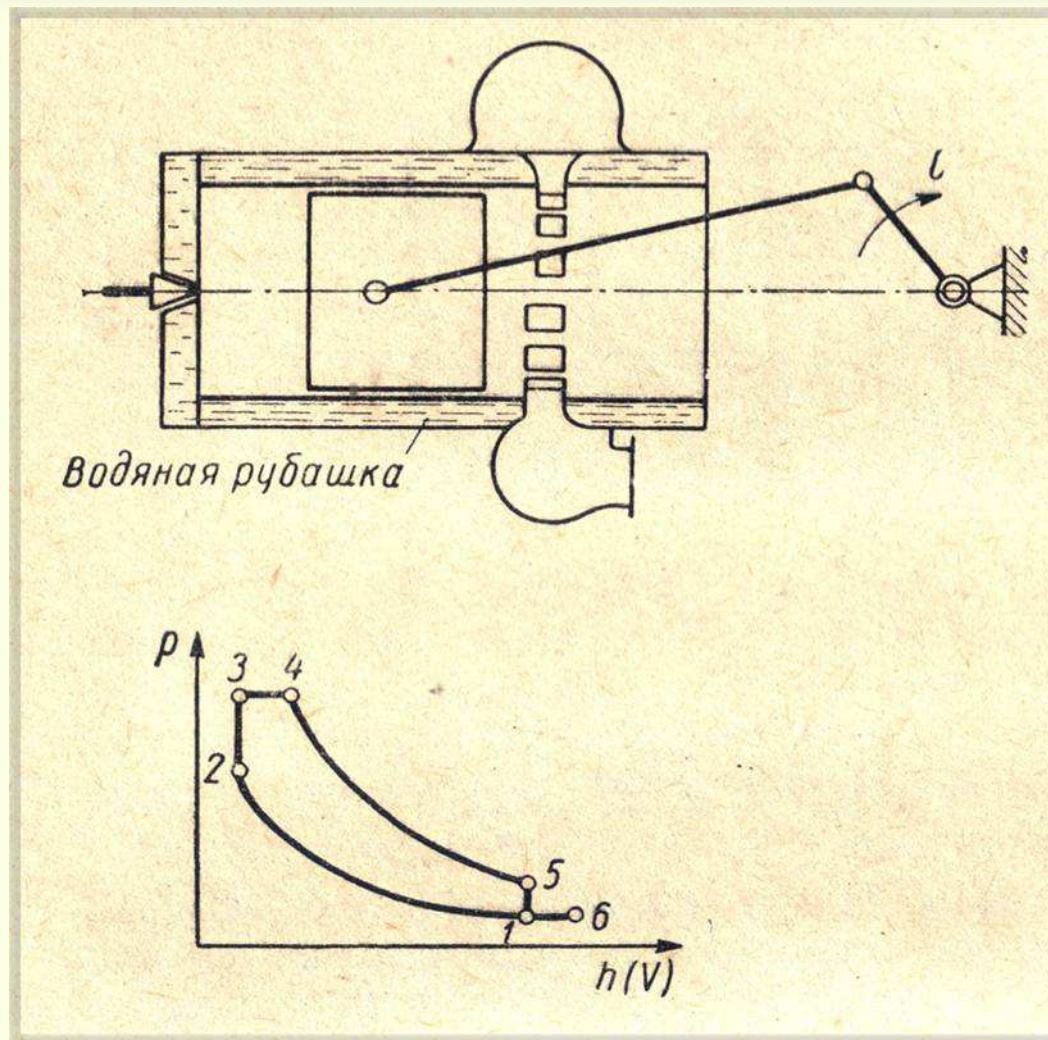


Рис. 2. Схема устройства двухтактного ДВС и его индикаторная диаграмма (двигатель с принудительным зажиганием - смесь готовится в карбюраторе)

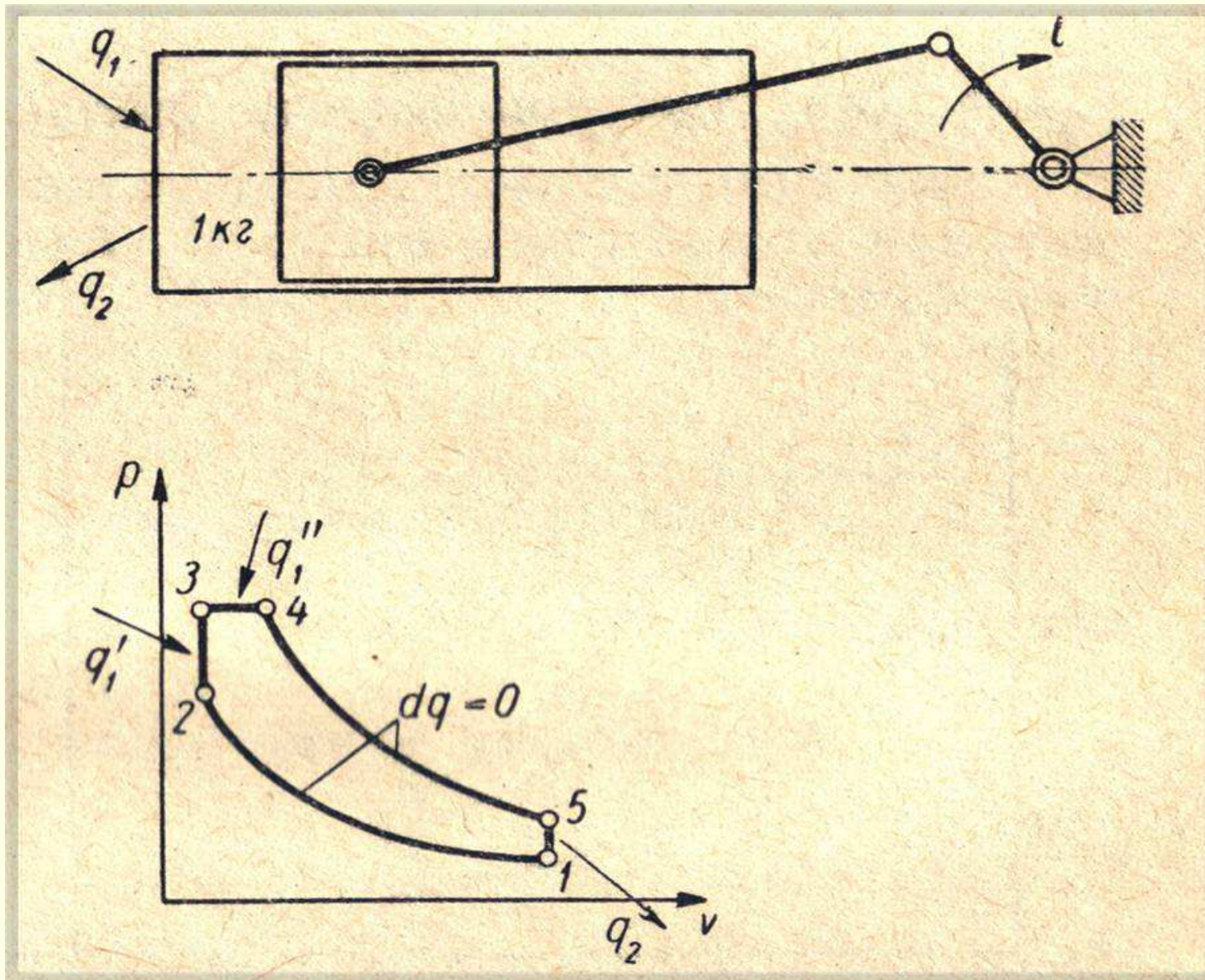


Рис. 3. Термодинамический поршневой двигатель и идеальный обобщенный цикл ДВС

Характеристики термодинамических циклов ДВС

Важнейшими характеристиками всякого цикла двигателя являются следующие безразмерные величины:

Степень сжатия — отношение удельного объема рабочего тела, соответствующего началу сжатия (точка 1 на рис. 2), к удельному объёму в конце сжатия (точка 2):

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

Степень дополнительного повышения давления — отношение давления в конце подвода теплоты при $v = \text{const}$ к давлению в конце сжатия:

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \quad (2)$$

Степень предварительного расширения - отношение удельного объёма в конце процесса подвода теплоты при $p = \text{const}$ к удельному объёму в начале этого процесса:

$$\rho = \frac{v_4}{v_3} \quad (3)$$

Степень последующего расширения — отношение удельных объемов в конце и в начале процесса адиабатного расширения. Последняя величина равна объёму в конце процессов подвода теплоты:

$$\delta = \frac{v_5}{v_4} \quad (4)$$

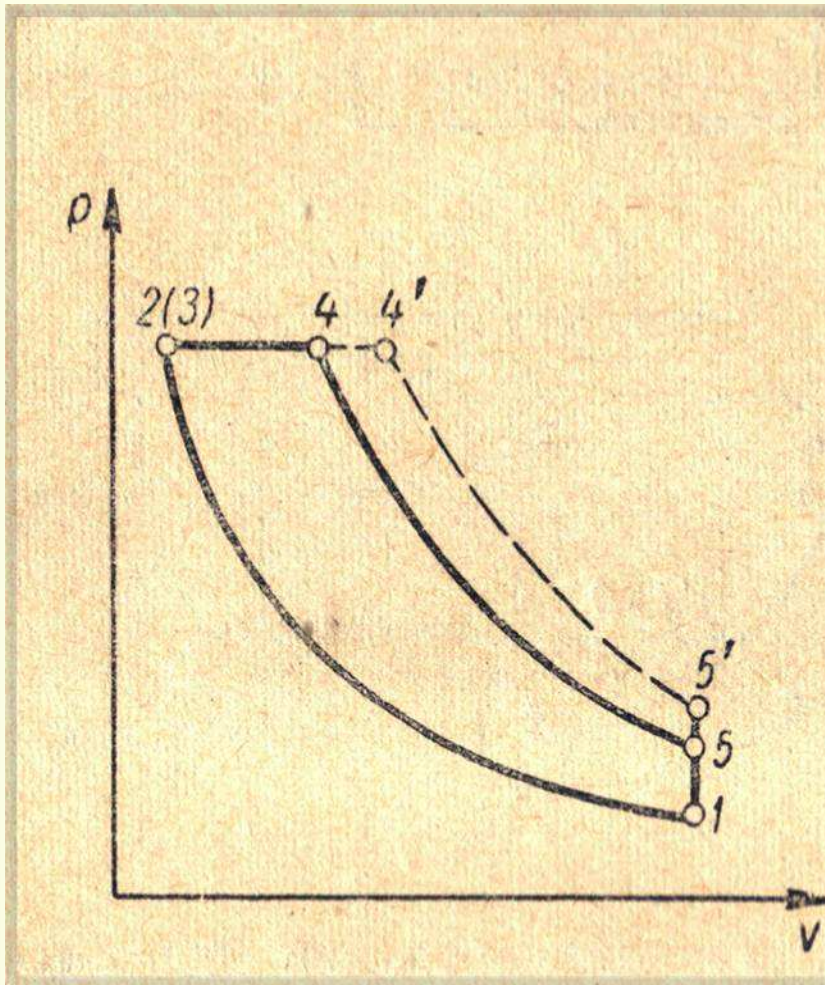


Рис. 4. Идеальный цикл ДВС с подводом теплоты при $p=const$

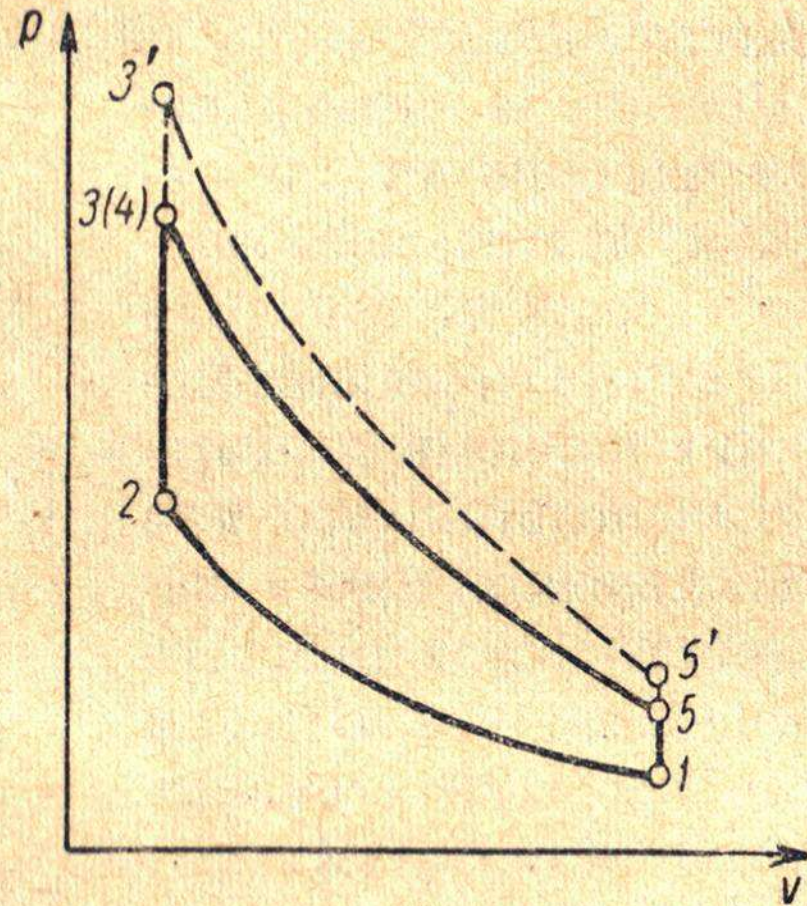


Рис. 5. Идеальный цикл ДВС с подводом теплоты при $v=const$

Экономичность идеальных циклов

Для всякого идеального цикла показателем экономичности является его термический к. п. д. Определим к. п. д. смешанного цикла (см. рис. 3):

$$\eta_t = \frac{(q_1' + q_1'') - q_2}{q_1' + q_1''} \quad (5)$$

Теплота, подводимая к рабочему телу в процессе $v=\text{const}$

$$q_1' = c_v (T_3 - T_2)$$

Теплота, подводимая в процессе $p=\text{const}$

$$q_1'' = c_p (T_4 - T_3)$$

Теплота, отводимая от рабочего тела

$$q_2 = c_v (T_5 - T_1)$$

Тогда

$$\eta_t = \frac{c_v (T_3 - T_2) + c_p (T_4 - T_3) - c_v (T_5 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2) + c_p (T_4 - T_3)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + k(T_4 - T_3)}$$

(6)

Для адиабаты сжатия 1-2 имеем

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1}$$

Отсюда

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1} \quad (7)$$

Для изохоры 2-3

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda \quad (8)$$

Отсюда

$$T_3 = T_2 \lambda = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda$$

Для изобары 3-4

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \rho$$

$$T_4 = T_3 \rho = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \rho \quad (9)$$

Для адиабаты расширения 4-5

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{k-1} = \frac{\left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{k-1}}{\left(\frac{v_5}{v_3}\right)^{k-1}} = \frac{\rho^{k-1}}{\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}} = \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$T_5 = T_4 \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \varepsilon^{k-1} \lambda \rho \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} \quad (10)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^k - 1}{\varepsilon^{k-1} \lambda - \varepsilon^{k-1} + k(\varepsilon^{k-1} \lambda \rho - \varepsilon^{k-1} \lambda)} \quad (11)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k \lambda (\rho - 1)} \quad \text{(Общая формула)} \quad (12)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)} \quad \text{При } \rho = \text{const} \quad (13)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \text{При } v = \text{const} \quad (14)$$

Изображение идеальных циклов ДВС в координатах sT

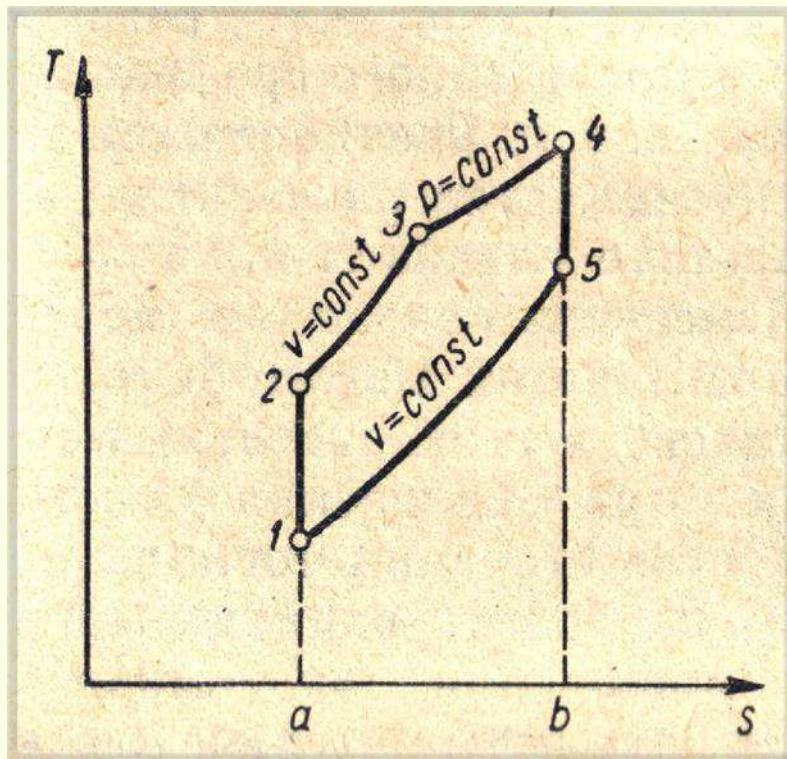


Рис. 6. Смешанный цикл
в координатах sT

$$\eta_t = \frac{\text{пл. } 123451}{\text{пл. } a234b}$$

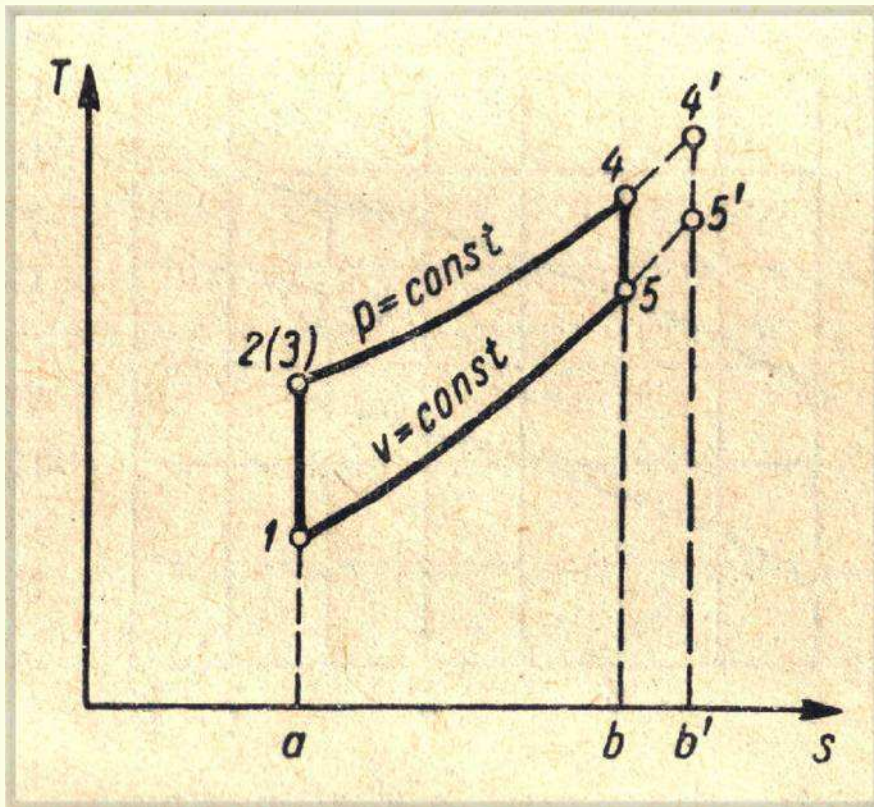


Рис. 7. Цикл с подводом теплоты при $p = \text{const}$ в координатах sT

$$\eta_t = \frac{\text{пл. } 12(3)451}{\text{пл. } a2(3)4b}$$

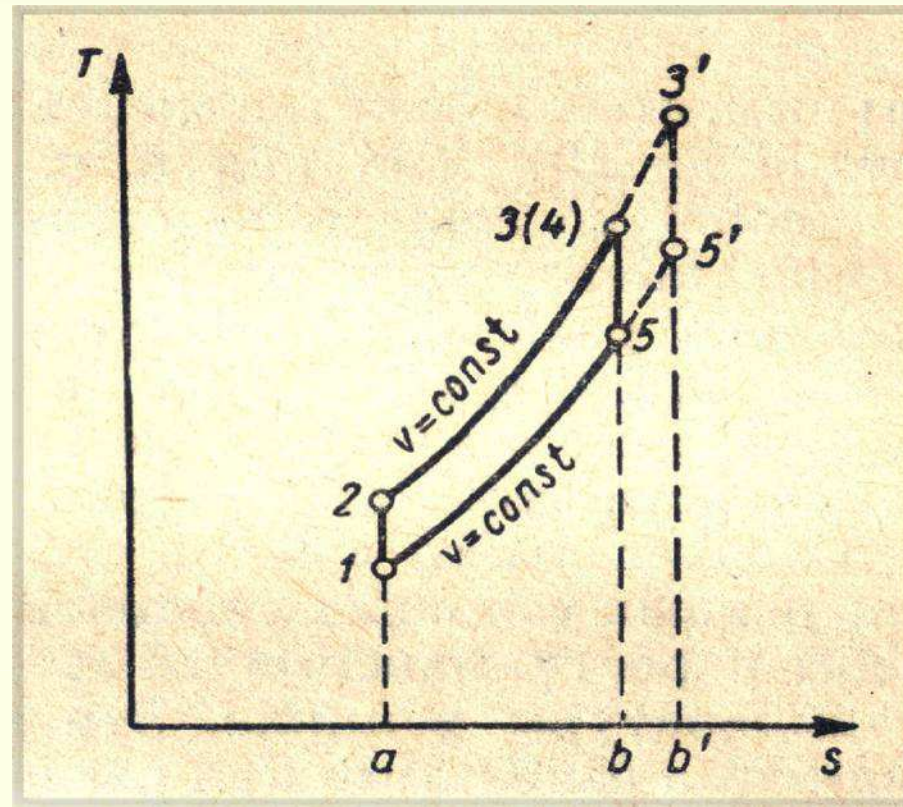


Рис. 8. Цикл с подводом теплоты при $v = \text{const}$ в координатах sT

$$\eta_t = \frac{\text{пл. } 123(4)51}{\text{пл. } a23(4)b}$$

Исследование идеальных циклов ДВС

Цикл с подводом теплоты при $v = \text{const}$.

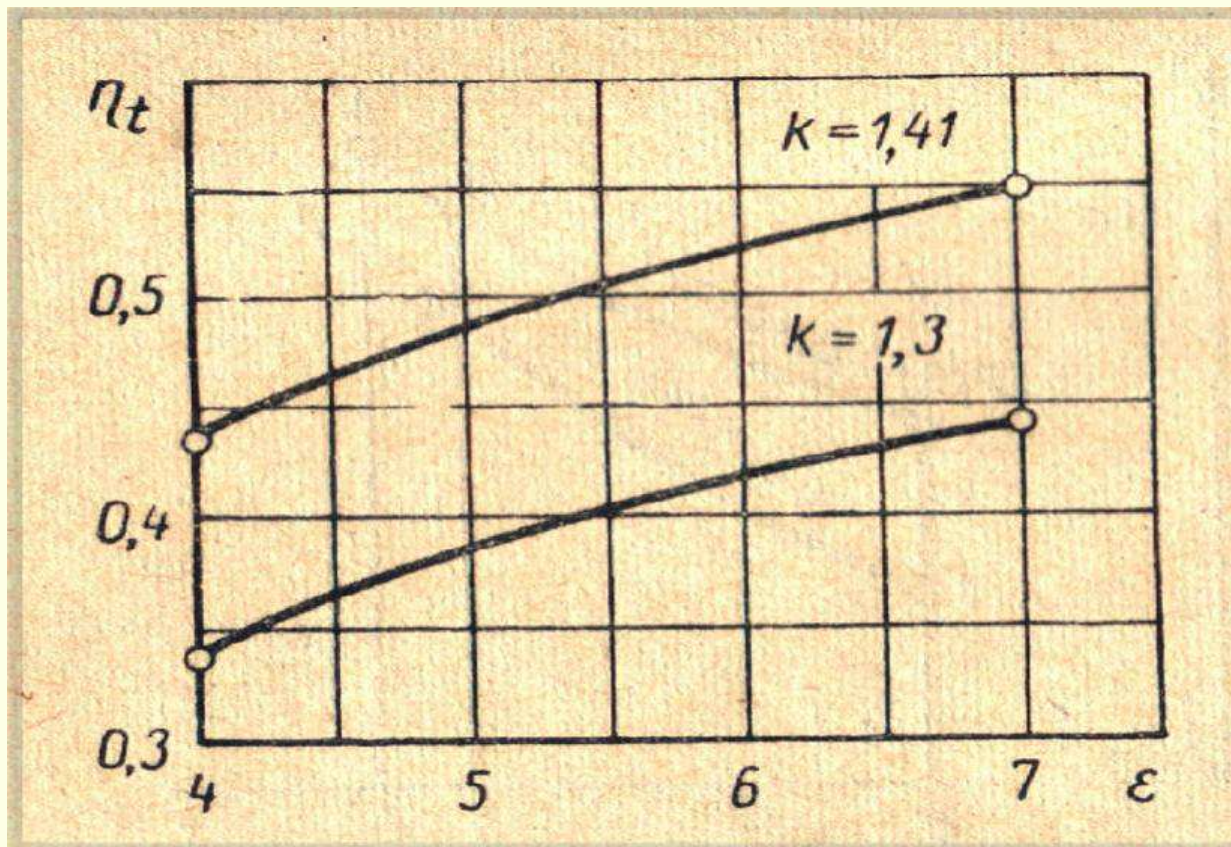


Рис. 9. Зависимость к.п.д. цикла с подводом теплоты при $v = \text{const}$ от степени сжатия ϵ и показателя адиабаты k

Цикл с подводом теплоты при $p = \text{const}$.

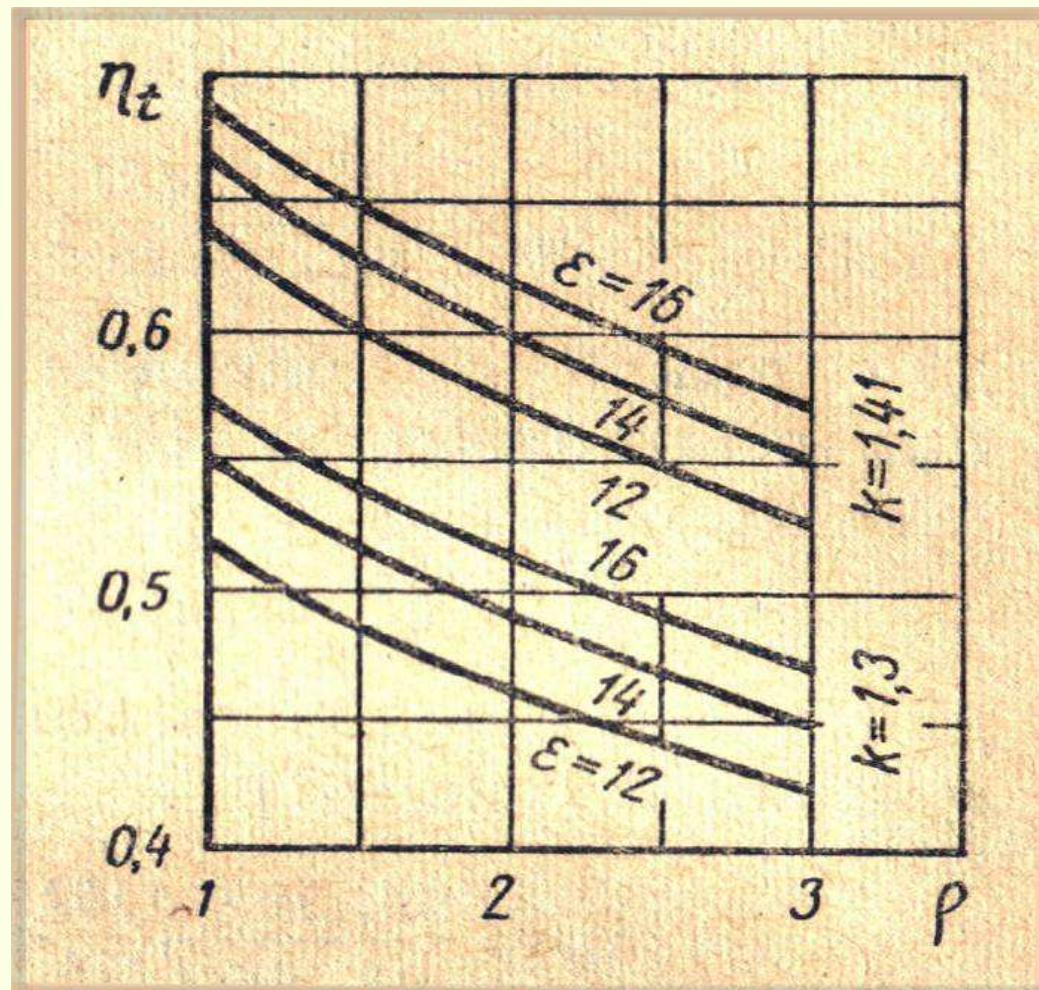


Рис. 10. Зависимость к.п.д. цикла с подводом теплоты при $p = \text{const}$ от степени предварительного расширения ρ , степени сжатия ϵ и показателя адиабаты κ

Смешанный цикл.

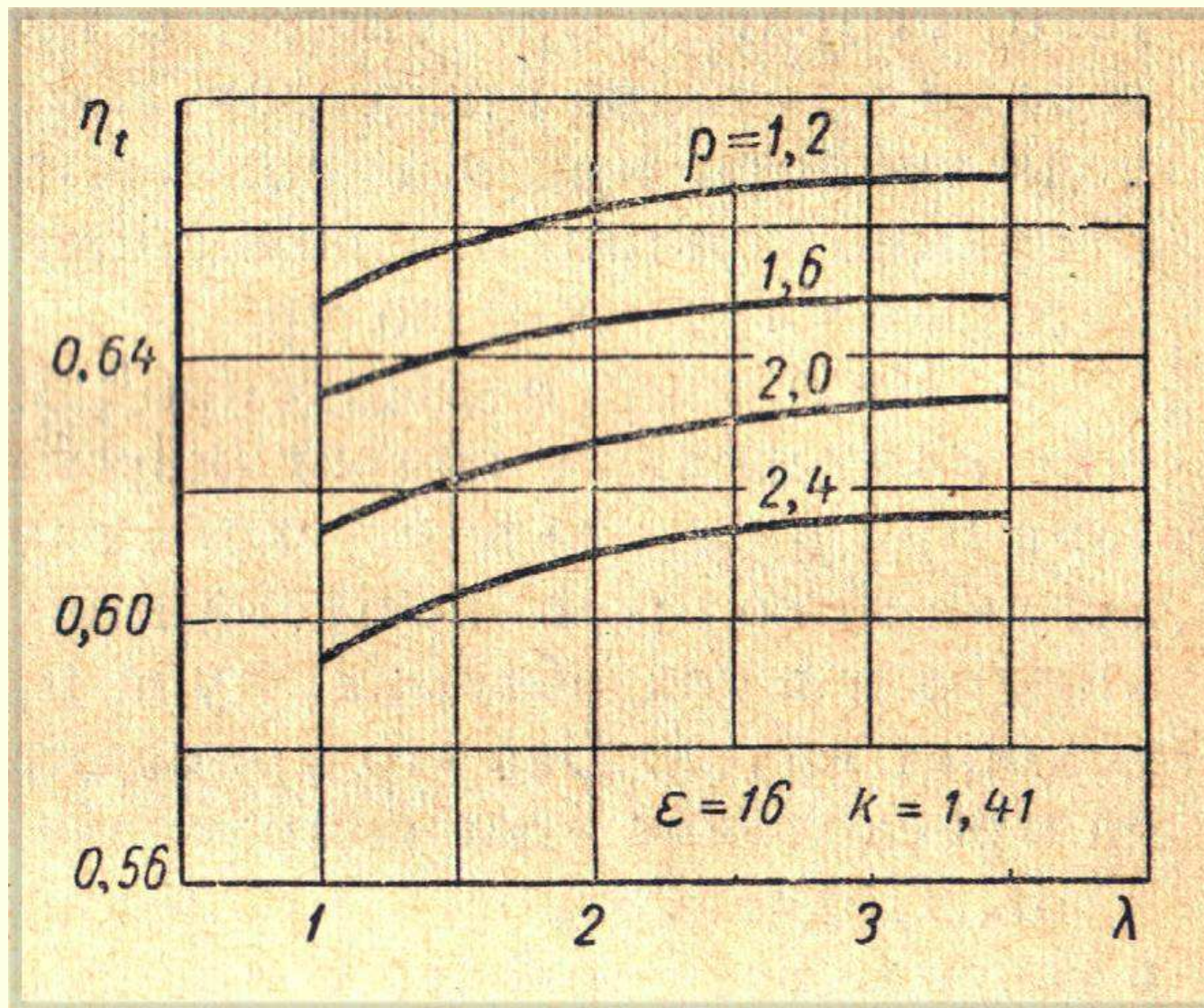


Рис. 11. Зависимость к.п.д. смешанного цикла от степени повышения давления λ и степени предварительного расширения ρ

Экономичность реальных двигателей

Отношение

$$\frac{L_i}{L_0} = \eta_i \quad (15)$$

дает так называемый **индикаторный** (внутренний) к. п. д. двигателя. Этим к. п. д. оценивается степень отклонения экономичности реального двигателя от экономичности идеального цикла.

$$\frac{L_e}{Q_m} = \eta_e \quad (16)$$

Это отношение называют **эффективным** к. п. д. двигателя. Эффективная работа двигателя отличается от индикаторной на величину так называемых механических потерь. Отношение

$$\frac{L_e}{L_i} = \eta_m \quad (17)$$

оценивает величину механических потерь и называется **механическим** к. п. д. двигателя.

$$\eta_e = \eta_t \eta_i \eta_m \quad (18)$$

Контрольные вопросы

- Двигатель внутреннего сгорания (схема, индикаторная диаграмма)
- Характеристики термодинамических циклов ДВС
- Экономичность идеальных циклов
- Изображение идеальных циклов ДВС в координатах sT
- Исследование идеальных циклов ДВС
- Зависимость к.п.д. смешанного цикла от степени повышения давления и степени предварительного расширения
- Экономичность реальных двигателей