



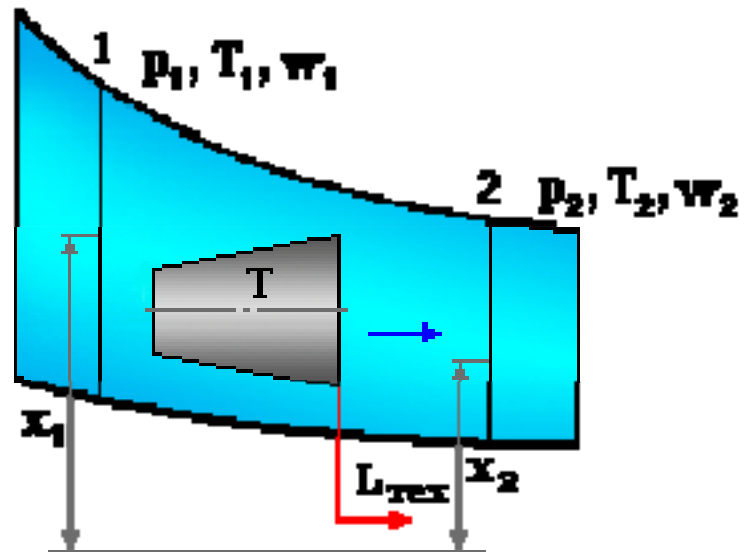
# ЭКСЕРГИЯ ПОТОКА ВЕЩЕСТВА

---

## Используем уравнение первого закона термодинамики для потока

---

- эксергия потока вещества, который пересекает неподвижную поверхность





аналитическое выражение первого закона  
термодинамики для потока

---

$$q = h_0 - h + \frac{w_0^2}{2} - \frac{w_1^2}{2} + g(x_1 - x) + l_{\text{тех.}}$$



## В этом выражении

---

- $ex = I_{\text{тех}}$
- изменением кинетической и потенциальной энергиями пренебрегаем

$$q = h_0 - h + ex$$

где  $h_0$  - энтальпия окружающей среды



С другой стороны,

---

$$q = T_0(s - s_0)$$

и тогда

$$ex = h - h_0 - T_0(s - s_0)$$



## Вывод

---

- величина **эксергии потока вещества** зависит в основном от связанной энергии

$$T_0(s - s_0)$$



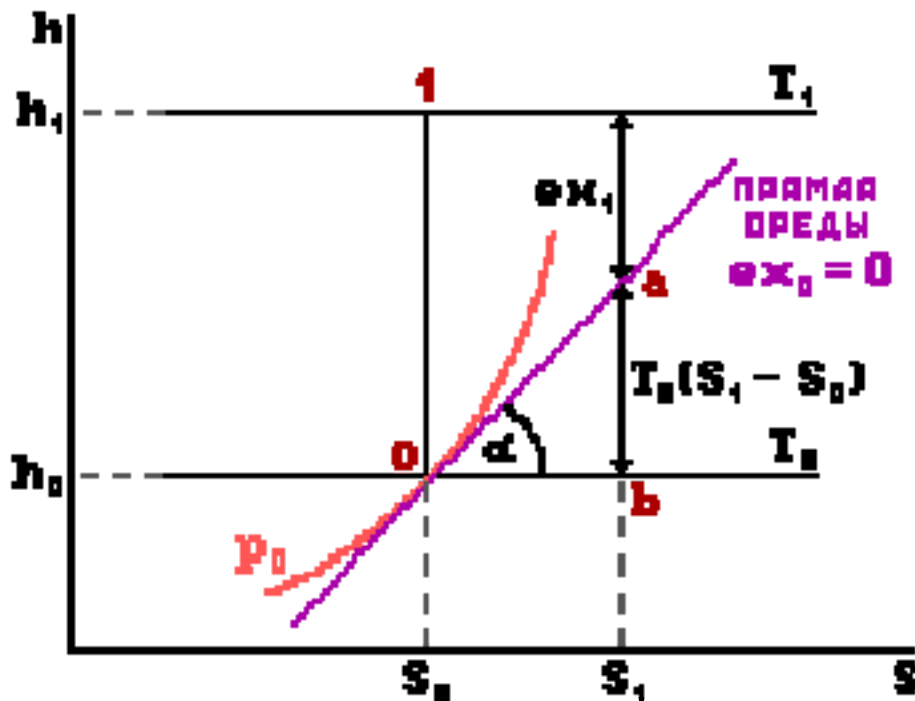
## Эксергетическая диаграмма h-s

---

- построена по соотношению для эксергии потока вещества
- позволяет значительно упростить расчеты, связанные с вычислением эксергии
- Эксергия легко определяется в системе координат h-s: линии постоянной эксергии  $e_x = \text{const}$  образуют в этой системе семейство прямых

$$e_x = h - T_0 s = h_b - T_0 s_b$$

## Диаграмма $h$ - $s$ с изолиниями $ex = \text{const}$



- Вычисление эксергии потока вещества в диаграмме  $h$ - $s$  сводится к вычислению разности между энтальпией потока и энтальпией "прямой среды"






# ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

---

# Принцип работы тепловых двигателей

---

Внутренняя энергия  механическая работа

Машины, в которых внутренняя энергия топлива превращается в механическую, называются **тепловыми двигателями**



## Тепловой двигатель включает

---

- Горячий источник
- Рабочее тело, способное расширяться и сжиматься (газ или пар)
- Холодный источник (возможно окружающая среда)

Наличие нагревателя и холодильника – необходимое условие для непрерывной работы теплового двигателя

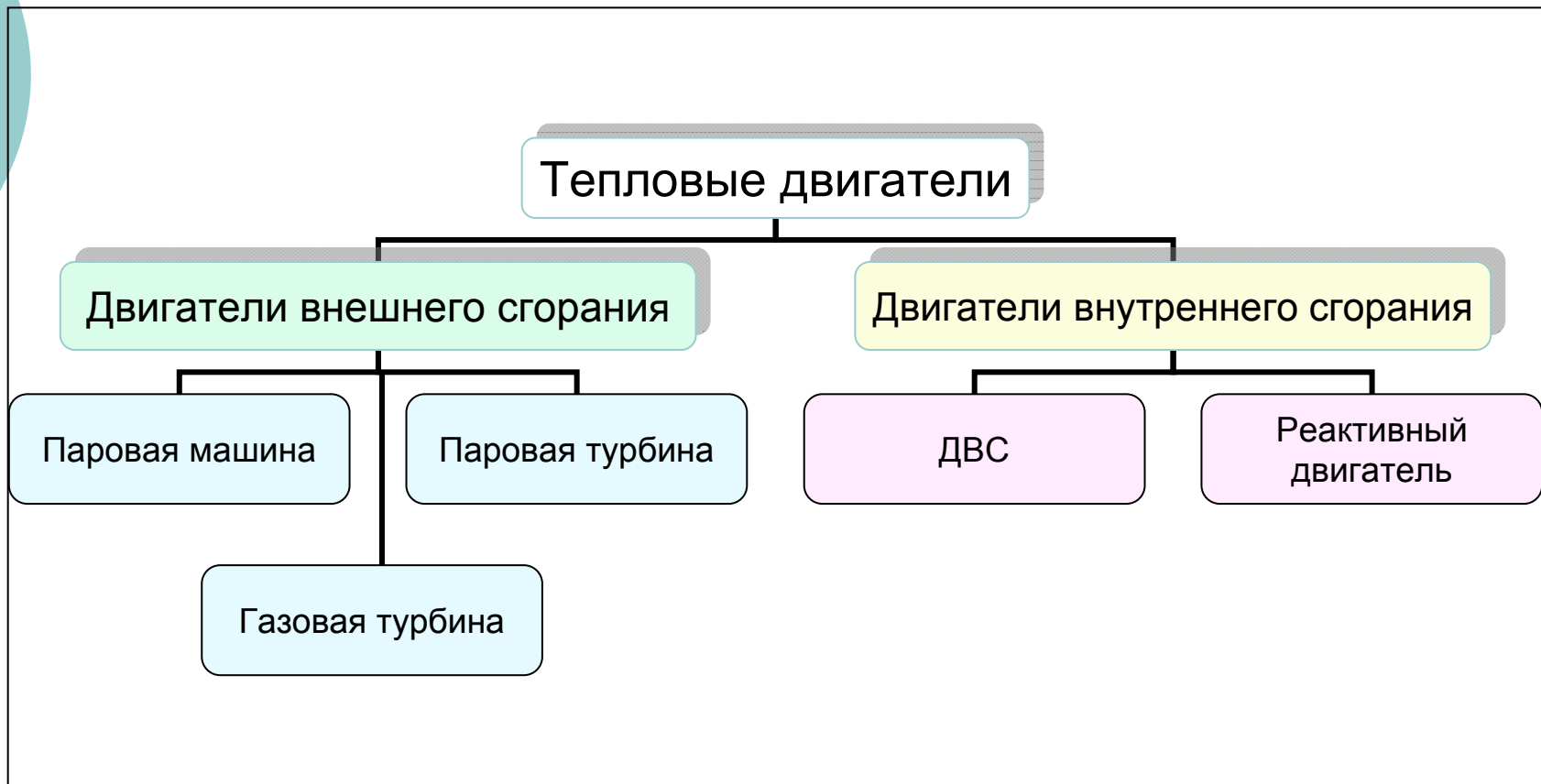


## Техническая задача

---

- Дать возможность рабочему телу попеременно приходить в соприкосновение с горячим источником и холодным источником
- Рабочее тело может **совершать работу**, только когда **оно не находится в тепловом равновесии** с окружающей средой

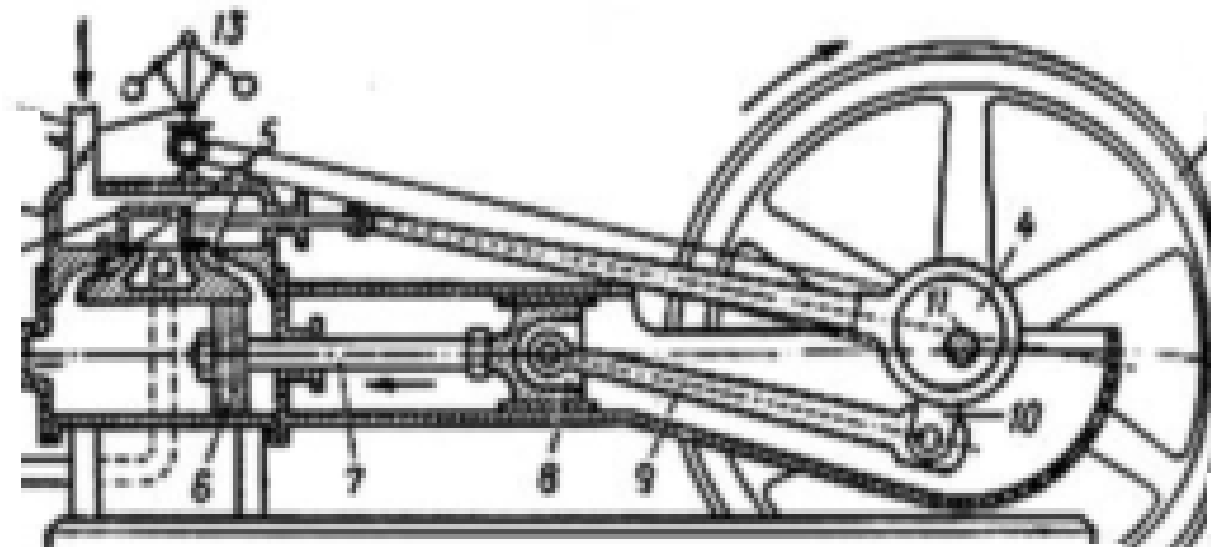
# Типы тепловых двигателей



## Паровые машины

---

Универсальная паровая машина Джемса Уатта  
1784 г.



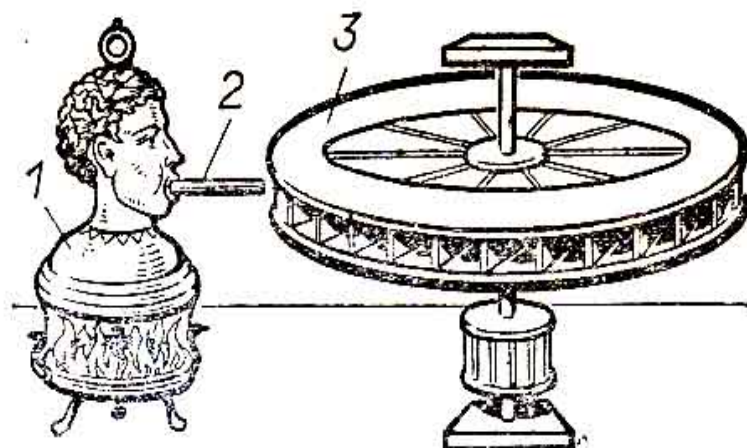
1-золотниковая коробка, 2-цилиндр, 3-золотник, 4-эксцентрик, 5-окна, 6-поршень, 7-шток, 8-ползун, 9-шатун, 10-кривошип, 11-вал, 12-маховик

# Паровые турбины

---

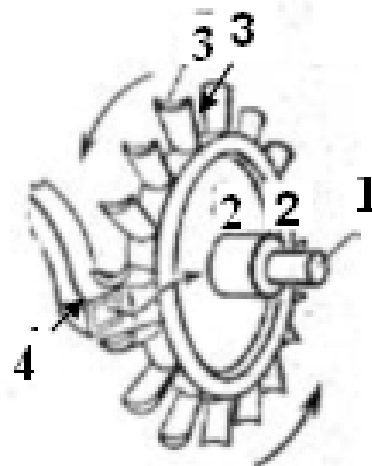
Турбина Бранка  
(начало XVII века)

1 - паровой котел, 2 - сопло,  
3 - лопасти колеса



# Современные турбины

---



- 1 – вал
- 2 – ротор
- 3 – лопатка
- 4 – сопло





## Тепловые двигатели

---

устройства, преобразующие внутреннюю энергию топлива в механическую энергию

Наличие нагревателя и холодильника – необходимое условие для непрерывной работы теплового двигателя



## Замкнутый цикл

---

- совокупность термодинамических процессов, в результате которых система возвращается в исходное состояние



## ***Термический коэффициент полезного действия цикла***

---

отношение работы идеального цикла к количеству подведенной к рабочему телу теплоты

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



# ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ КПД ЦИКЛА

---

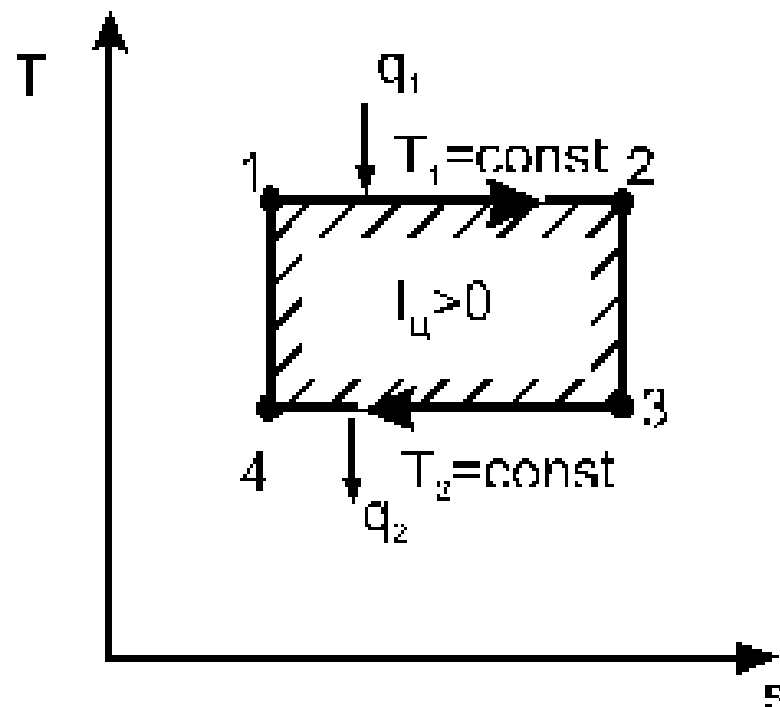
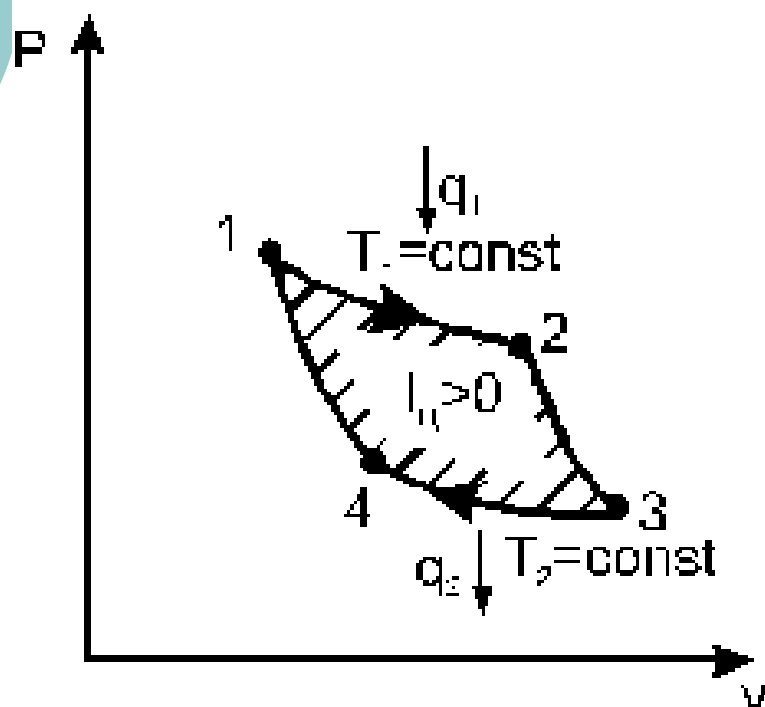
отношение работы цикла к эксергии теплоты  $q$

$$\eta_{ex} = \frac{l_{ц}}{ex}.$$

- для обратимых циклов эксергетический КПД равен 1
- для необратимых  $< 1$

эксергетический КПД характеризует величину **внешней и внутренней необратимости** реального цикла

# Прямой цикл Карно в $p$ - $v$ - и $T$ - $S$ -диаграммах



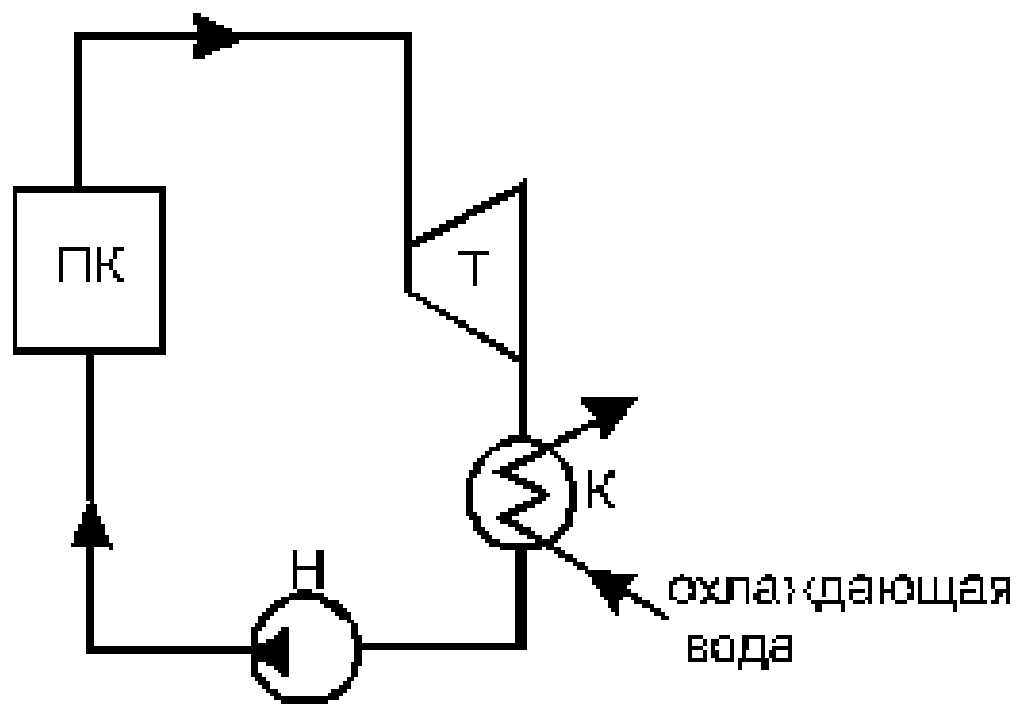
## КПД прямого обратимого цикла цикла Карно

---

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2 \cdot (s_3 - s_4)}{T_1 \cdot (s_2 - s_1)} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

## Паротурбинная установка, реализующая цикл теплового двигателя

---



ПК – паровой котел; Т – турбина; К – конденсатор; Н – насос