

# Основы трансформации тепла

# Назначение трансформаторов

*Трансформаторы тепла* – это технические системы, в которых осуществляется отвод энергии в форме тепла от объектов с относительно низкой температурой к приемникам тепла с более высокой температурой.

**Повышение потенциала тепла.**

# Повышение потенциала тепла

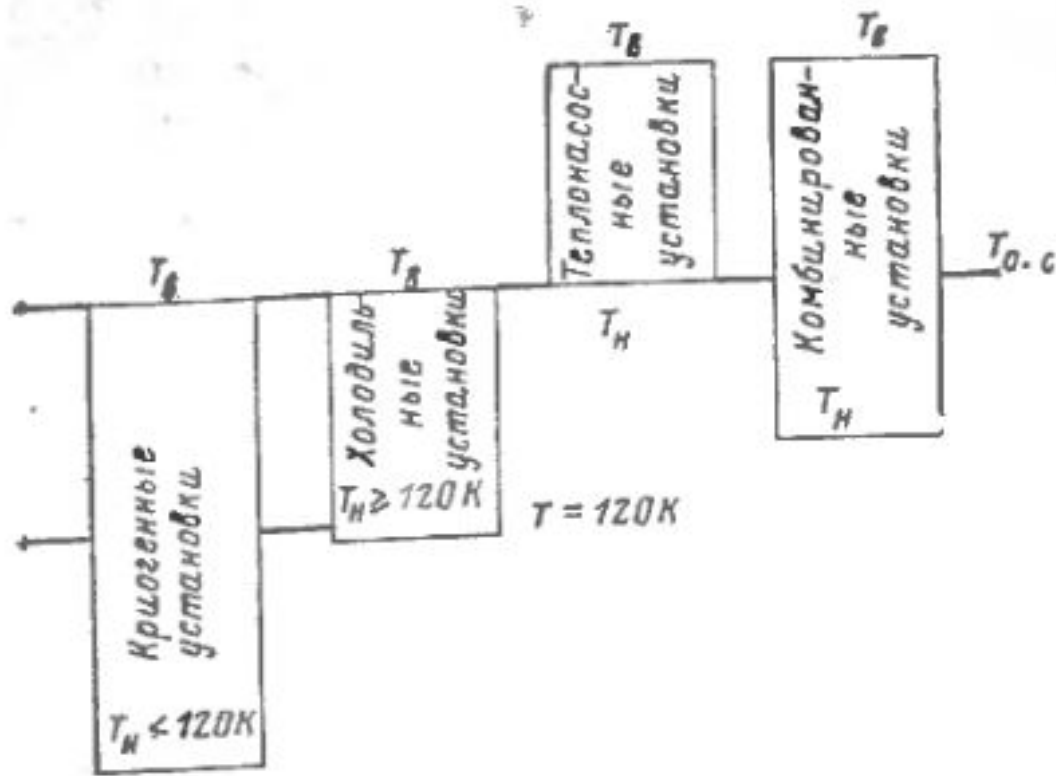
- Рефрижератор,  $T_H < T_{OC}, T_B = T_{OC}$  - R;
- Тепловой насос,  $T_B > T_{OC}, T_B > T_{OC}$  - H;
- Комбинированный,  $T_H < T_{OC}, T_B > T_{OC}$  - RH.

# Рефрижераторы

Основная работа – выработка холода (отвод в окружающую среду тепла от объектов температура которых  $T_H < T_{oc}$ . В зависимости от уровня  $T_H$  рефрижераторы делятся на:

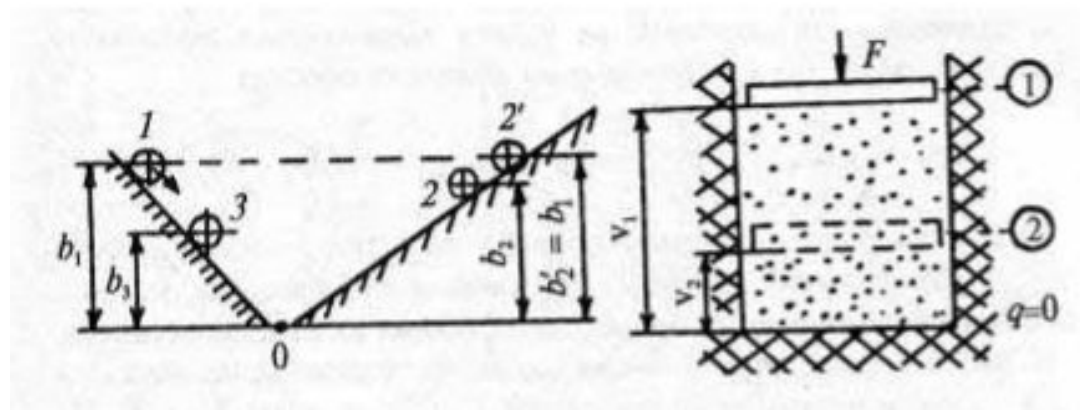
- Холодильные установки ( $T_H \geq 120 \text{ } ^\circ\text{K}$ );
- Криогенные установки ( $T_H < 120 \text{ } ^\circ\text{K}$ ).

# Температурные зоны использования трансформаторов тепла различного назначения



# Второе начало термодинамики

## Обратимые и необратимые процессы



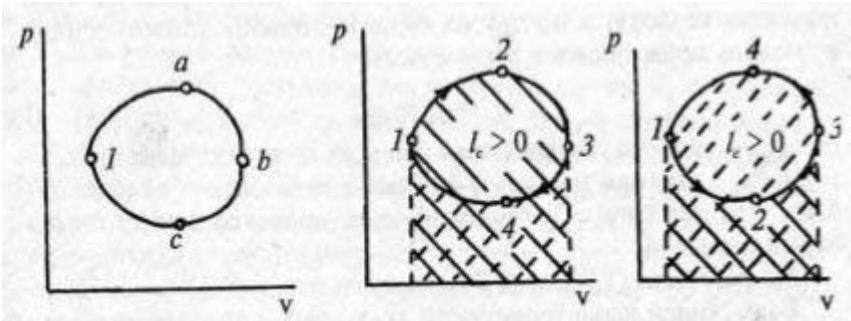
$$l_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} (p + \Delta p_{1-2}) dv = \int_{v_1}^{v_2} p dv - \int_{v_1}^{v_2} \Delta p_{1-2} dv,$$

$$l_{1-2-1} = l_{1-2} + l_{2-1} = \int_{v_1}^{v_2} (\Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-1}) dv \neq 0.$$

$$l_{2-1} = \int_{v_2}^{v_1} (p - \Delta p_{2-1}) dv = \int_{v_2}^{v_1} p dv - \int_{v_2}^{v_1} \Delta p_{2-1} dv$$

$$\Delta p_{1-2} > 0 \quad \Delta p_{2-1} > 0, \quad dv < 0$$

# Циклы и их КПД



$$q_c = q_1 - q_2$$

$$\oint dq = \oint dl, \quad q_c = l_c$$

Суммарная теплота равна работе в цикле

$$\eta = \frac{l_c}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

# Формулировка второго начала

**Р. Клаузиус:** невозможен самопроизвольный переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому.

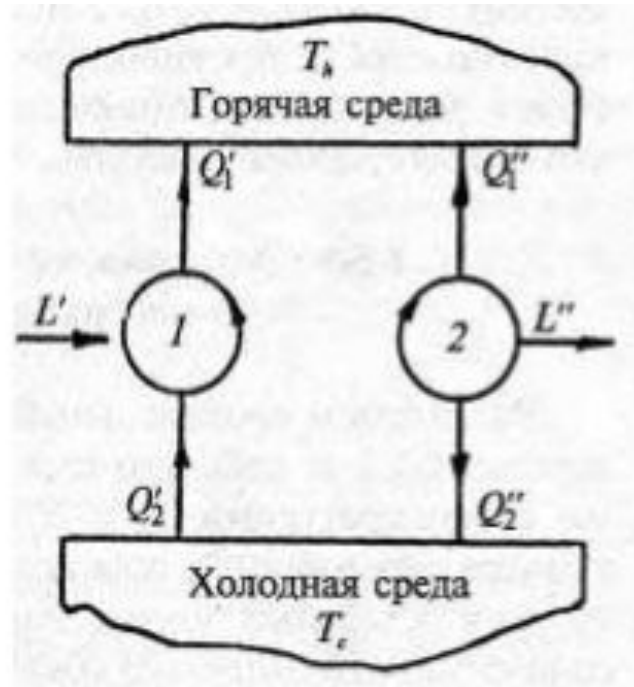
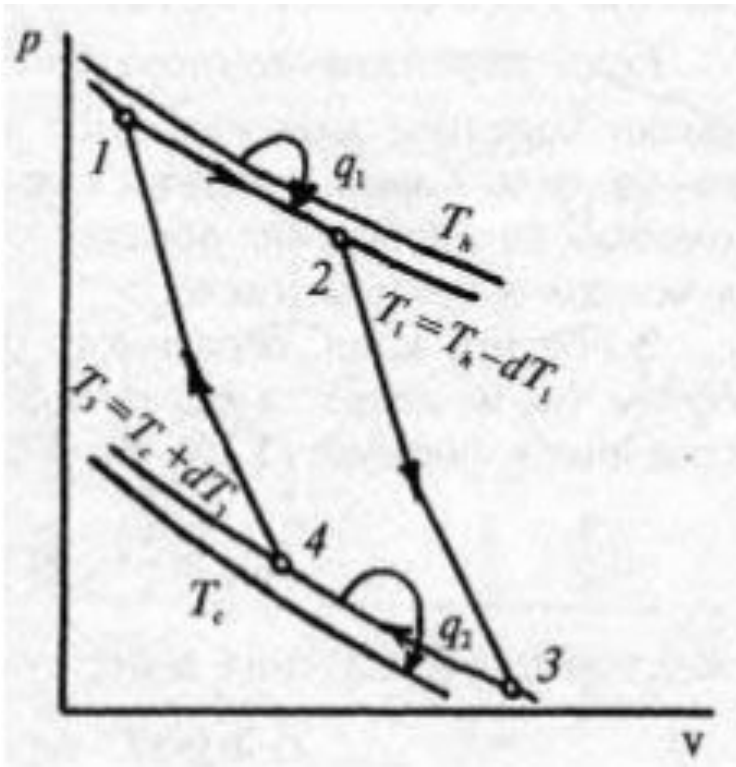
**М. Планк:** невозможно создать периодически работающую машину, все действия которой сводились бы к совершению работы и к охлаждению одной горячей среды.

**Определение:** Работу можно полностью превратить в теплоту, а теплоту, полученную от горячей среды, полностью превратить в работу нельзя, часть необходимо передать холодной среде.

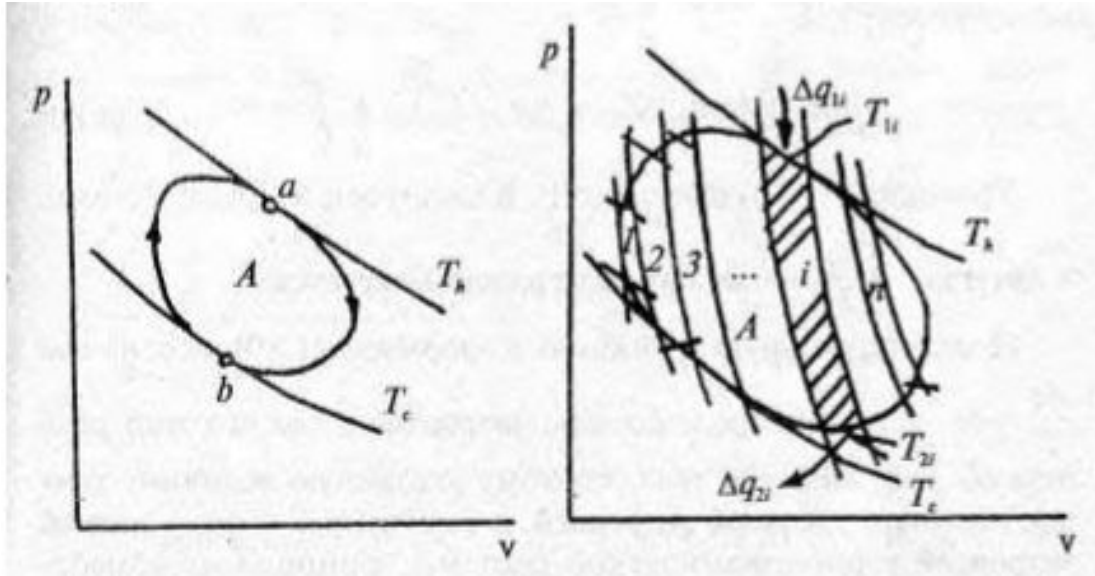


# Цикл Карно

1824 г.  $Q_1' = Q_1''$ .



# Энтропия и её изменение



$$\eta_{ti} = 1 - \Delta q_{2i} / \Delta q_{1i} = 1 - T_{2i} / T_{1i}$$

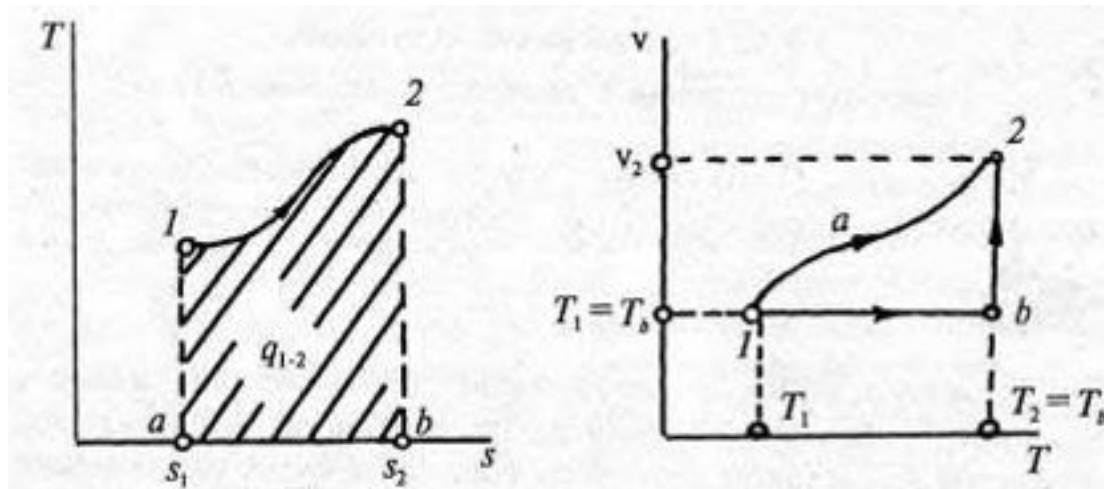
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n (\Delta q_{2i} / T_{2i} + \Delta q_{1i} / T_{1i}) = \oint_A \frac{dq}{T} = 0.$$

$$\oint_A \frac{dq}{T} = ds$$

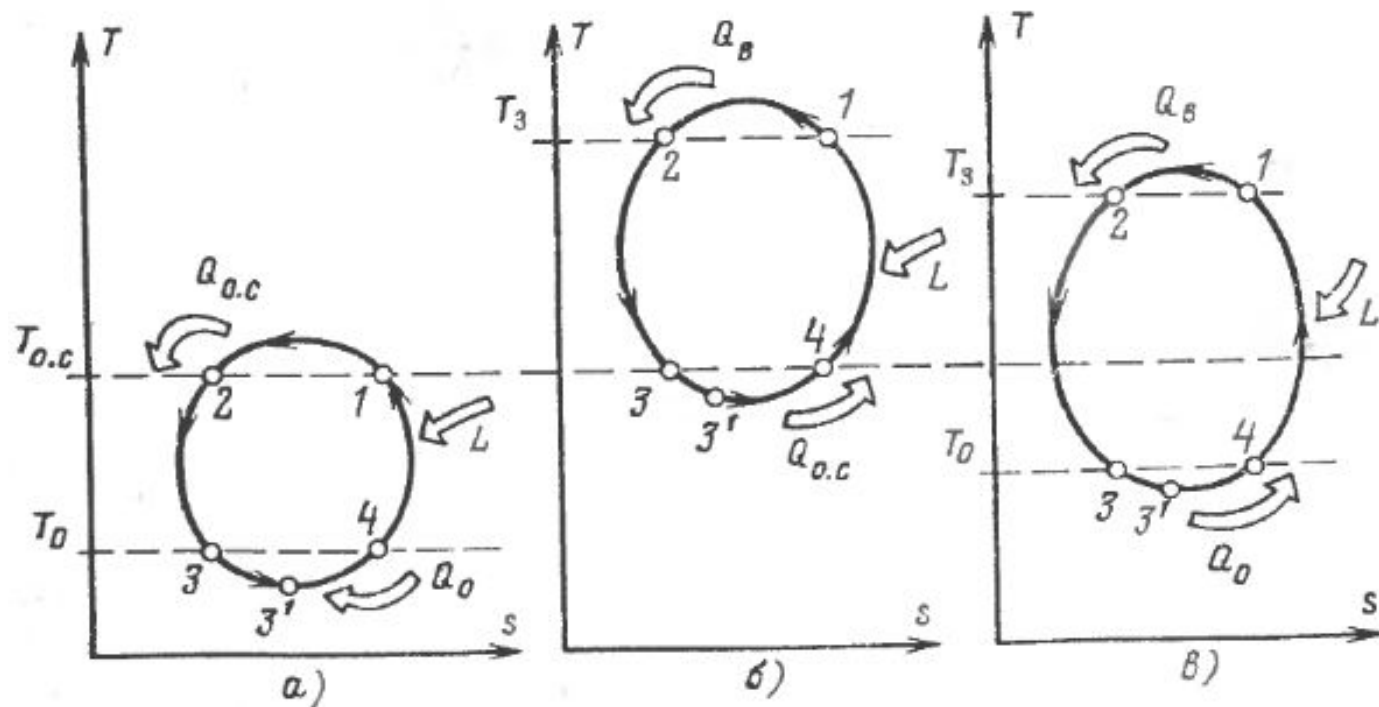
**Энтропия – мера необратимости процессов в изолированной системе.**

# T-s – диаграмма состояний

$$q_{1-2} = \int_{s_1}^{s_2} T ds.$$



# Принципиальная схема циклов трансформаторов тепла на T-s - диаграмме



# Область использования трансформаторов тепла

- В сельском хозяйстве
- В торговле
- На производстве
- В водоснабжении
- На железной дороге
- В морском флоте
- В медицине

# Классификация ТТ

По принципу работы:

- *Термомеханические*
- *Электромагнитные*

В зависимости от способа повышения давления рабочего тела термомеханические установки делятся на:

- *Компрессионные*
- *Сорбционные*
- *Струйные*

# Компрессионные установки

- Парожидкостные
- Газожидкостные
- Газовые

# Сорбционные

Повышение давления рабочего тела при последовательно осуществлении термохимических реакций поглощения (сорбции) рабочего агента соответствующим сорбентом, а затем выделение рабочего агента из сорбента, сопровождаемое подводом тепла.

- Абсорбционные (сорбция внутри)
- Адсорбционные (сорбция на поверхности)



# Струйные установки

Использование кинетической энергии потока пара или газа для повышения давления рабочего агента.

# Электромагнитные установки

- Термоэлектрические системы (эффект Пельтье)
- Магнитокалорические системы
- Термомагнитные системы (эффект Эттингсхаузена)
- Электрокалорические системы

По характеру трансформации все установки можно разделить на две группы:

- С повышающей трансформацией
- С расщипительной трансформацией

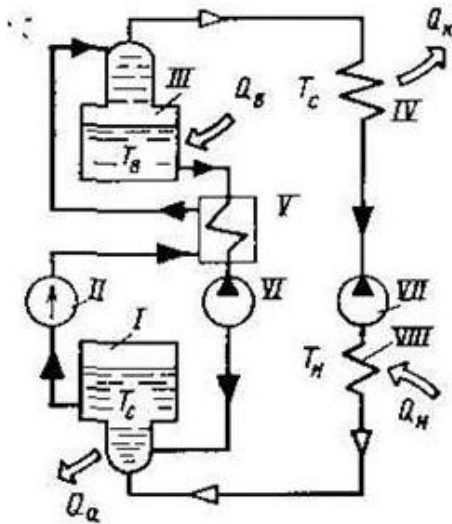


Схема повышающего сорбционного трансформатора

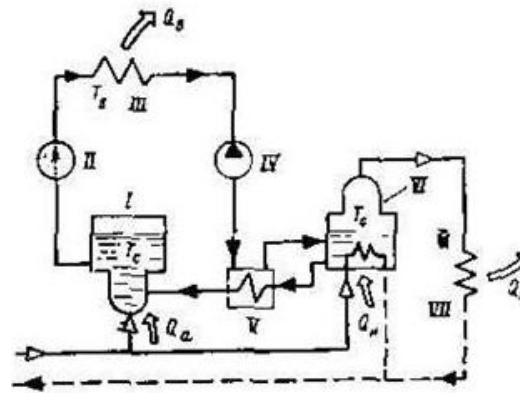
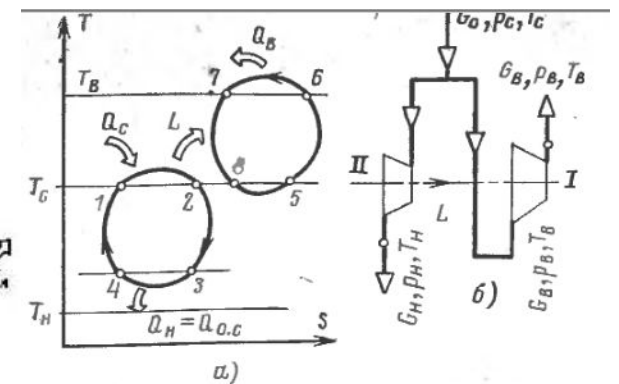


Схема и цикл расщепляющего сорбционного трансформатора



По характеру протекания процесса во времени установки делятся на:

- Непрерывного действия
- Периодического действия

# Термодинамические основы процессов трансформации тепла

# Трансформаторы с циклическими процессами

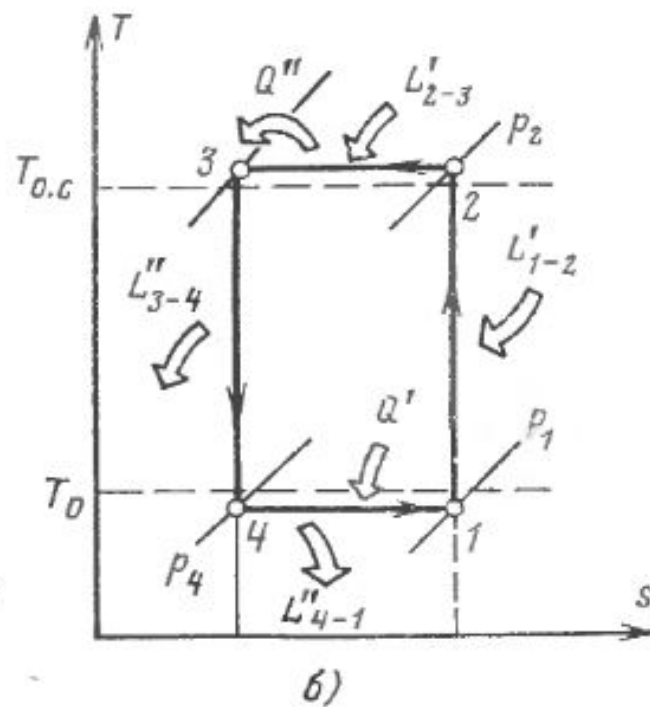
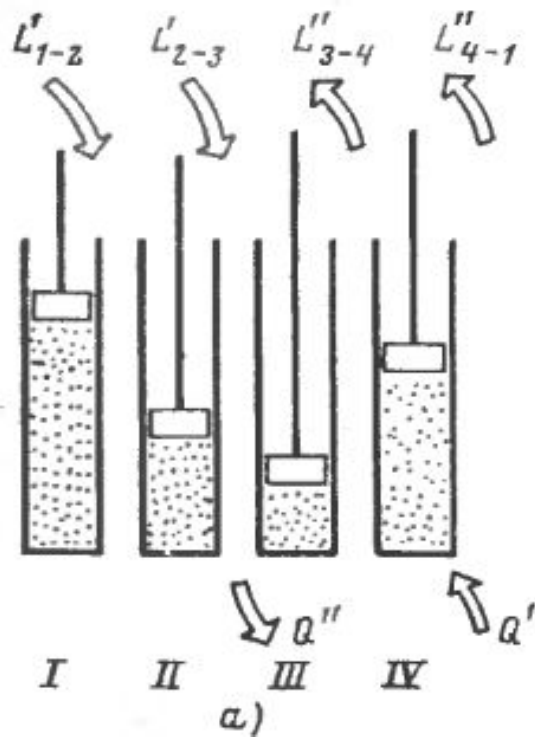
Осуществляется замкнутый процесс

$$\left. \begin{array}{l} \text{(цикл)} \\ \Sigma Q_{\text{вх}} + \Sigma L_{\text{вх}} = \Sigma Q_{\text{вых}} + \Sigma L_{\text{вых}} \\ \text{ИЛИ} \\ \Sigma Q_{\text{вх}} + \Sigma L_{\text{вх}} - \Sigma Q_{\text{вых}} - \Sigma L_{\text{вых}} = 0^* \end{array} \right\}$$

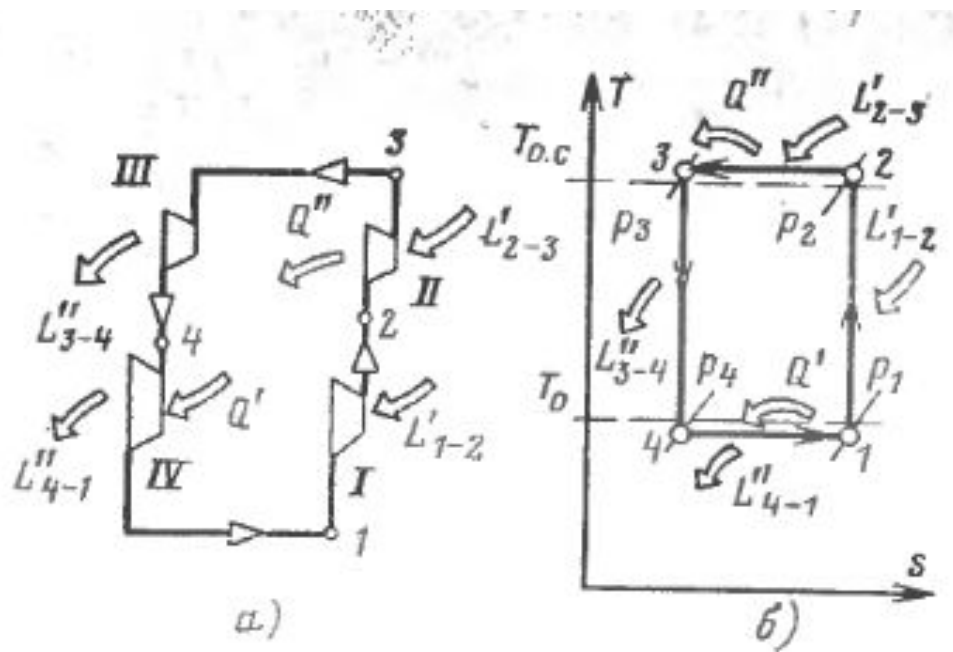
**Нестационарный цикл** – процессы, протекающие с изменением параметров рабочего тела.

Уравнение энергетического  
баланса

# Схема установки для осуществления обратного цикла Карно с нестационарными процессами



# Схема установки для осуществления обратного цикла Карно со стационарными процессами



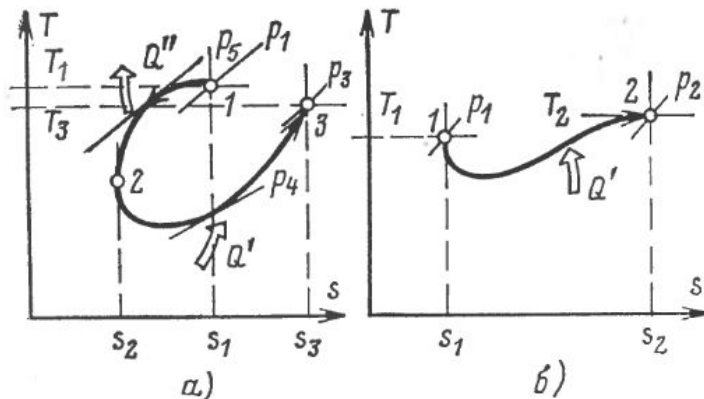


# Трансформаторы с квазициклическими процессами

Совершается разомкнутый процесс – квазицикл.

$$\Sigma Q_{\text{ВХ}} + \Sigma L_{\text{ВХ}} + \Sigma I_{\text{ВХ}} = \Sigma Q_{\text{ВЫХ}} + \Sigma L_{\text{ВЫХ}} + \Sigma I_{\text{ВЫХ}},$$

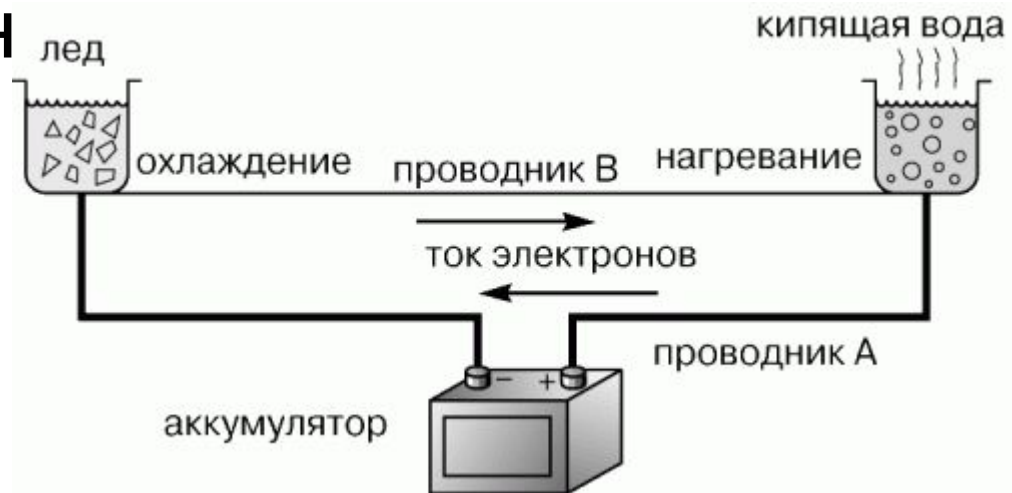
Уравнение энергетического баланса



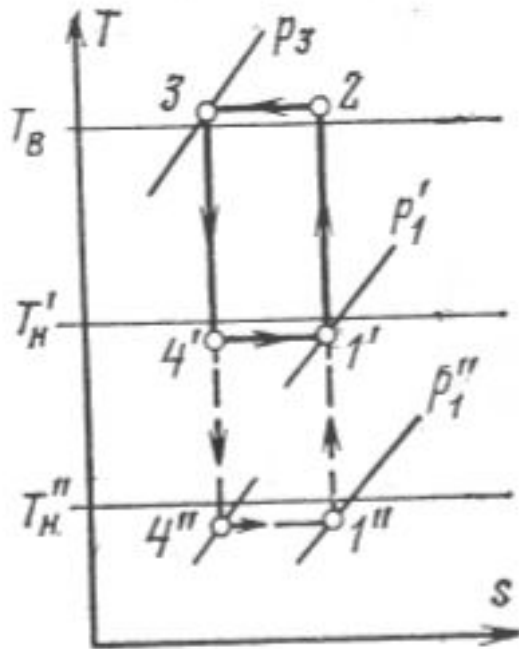
Б - разомкнутый процесс  
А - квазицикл

# Трансформатор тепла с нециклическими процессами

Состояние рабочего тела в процессе работы не меняется. ТТ основанные на эффекте Пельтье: возникновение разности температур в паре разнородных электропроводн



# Каскадные трансформаторы тепла



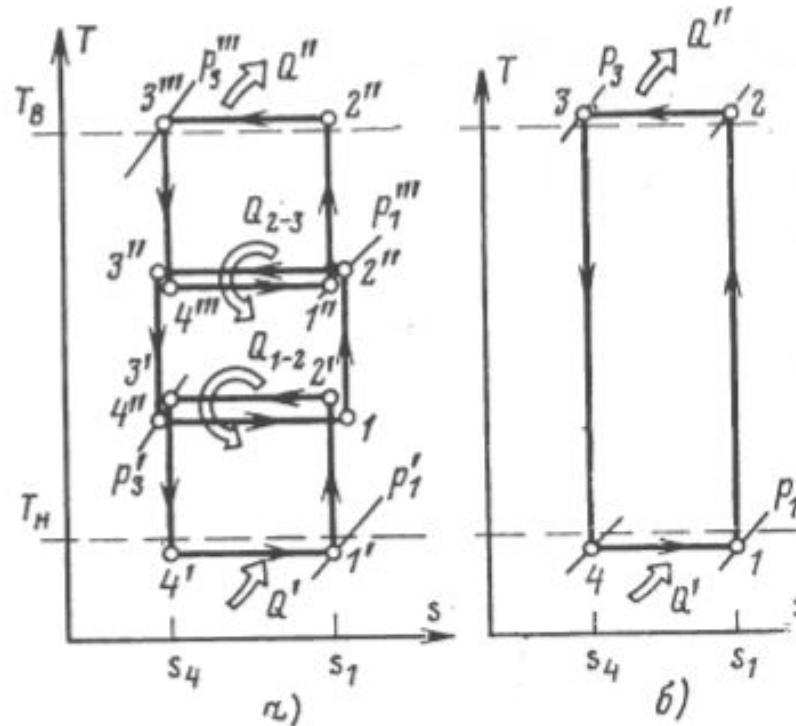
Первый каскадный трансформатор придумал Р. Питке в 1877 г, работающий на 2-х рабочих телах  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ .

Регенерация была изобретена Р. Стирлингом 1816 г.

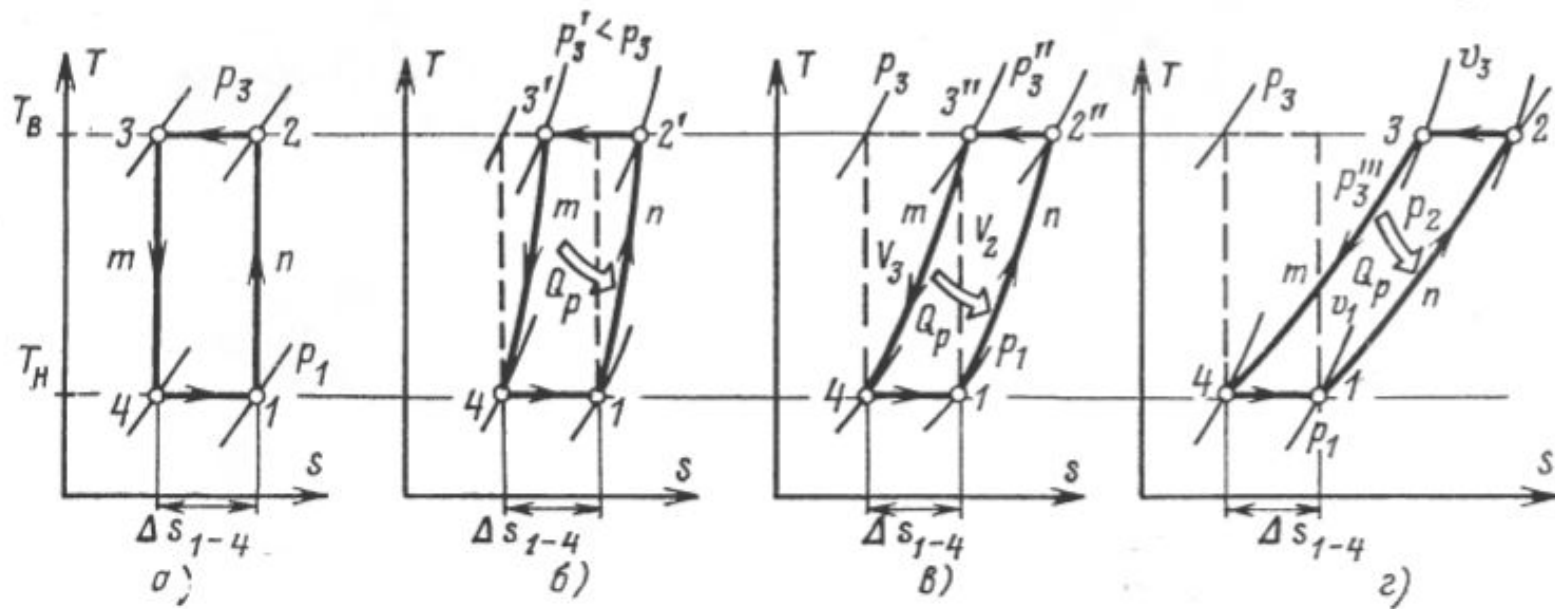
Схема 2-х обратных циклов Карно, работающих в разных температурных интервалах.

# Каскадный метод

Замена одного цикла несколькими, расположенными каскадом.



# Регенеративный метод



Основан на использовании внутреннего теплообмена между потоками рабочего тела.

# Эксергетический метод анализа

**Как оценить термодинамическую эффективность трансформаторов тепла?**

Нужно использовать общий термодинамический метод анализа – **эксергетический!**

1. В этом методе  $T_{oc}$ ,  $p_{oc}$  – **постоянные** (const)!
2. Вводится новая величина – **эксергия** (на сколько одна энергия превращается в другой вид энергии).

**Эксергия** – это энергия, которая может быть получена от системы в результате её обратимого перехода из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой;