

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

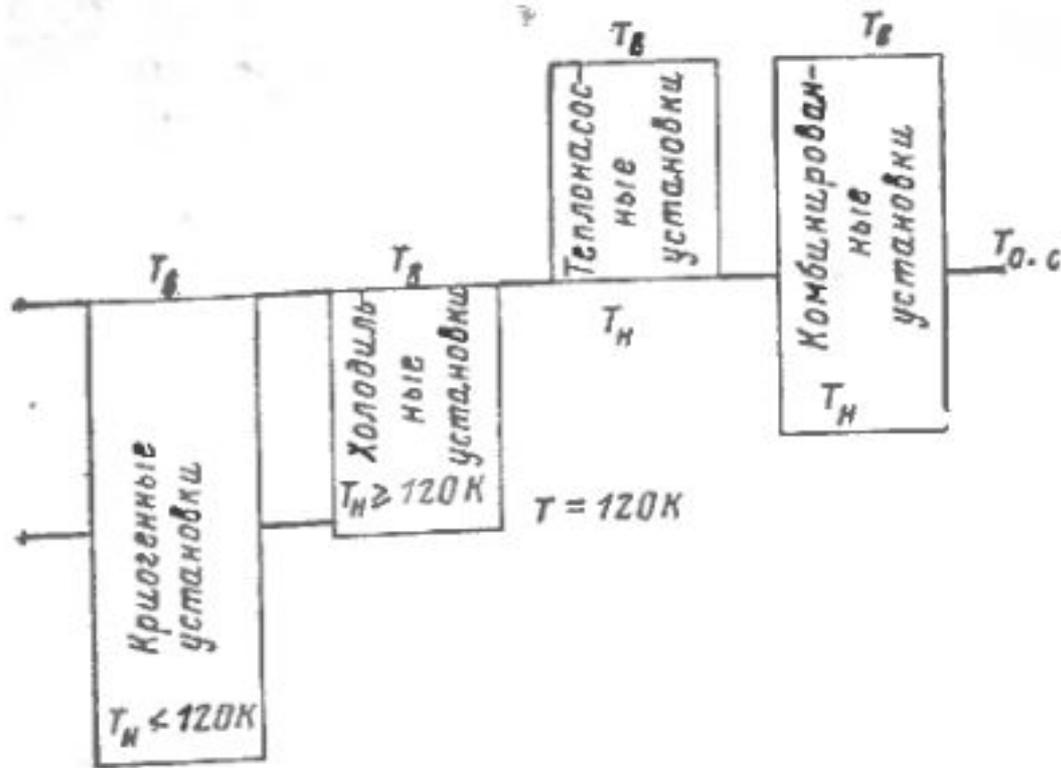
- Рефрижератор, $T_H < T_{OC}, T_B = T_{OC}$ - R;
- Тепловой насос, $T_B > T_{OC}, T_B > T_{OC}$ - H;
- Комбинированный, $T_H < T_{OC}, T_B > T_{OC}$ - RH.

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:

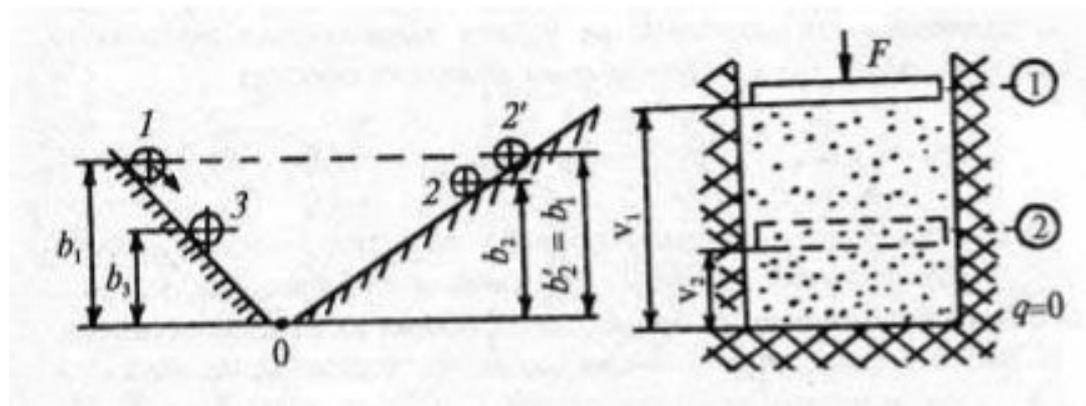
- Холодильные установки ($T_H \geq 120 \text{ } ^\circ\text{K}$);
- *Криогенные установки ($T_H < 120 \text{ } ^\circ\text{K}$).*

Температурные зоны использования трансформаторов тепла различного назначения



Второе начало термодинамики

Обратимые и необратимые процессы



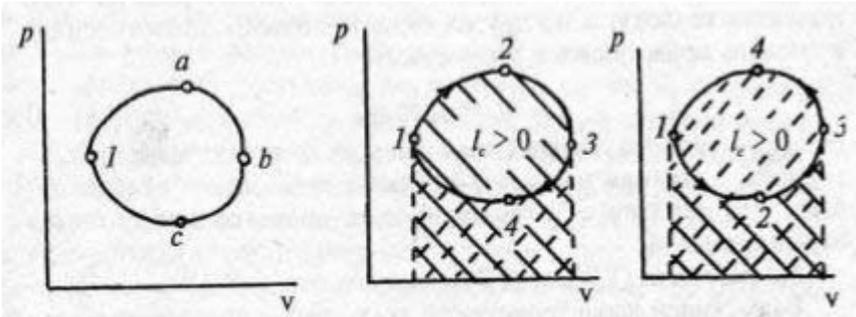
$$l_{1-2} = \int_{v_1}^{v_2} (p + \Delta p_{1-2}) dv = \int_{v_1}^{v_2} p dv - \int_{v_1}^{v_2} \Delta p_{1-2} dv,$$

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

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

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

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

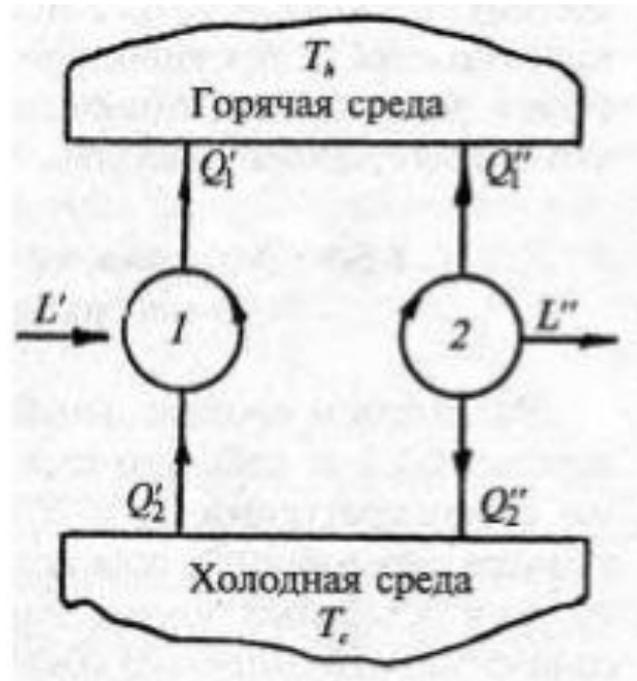
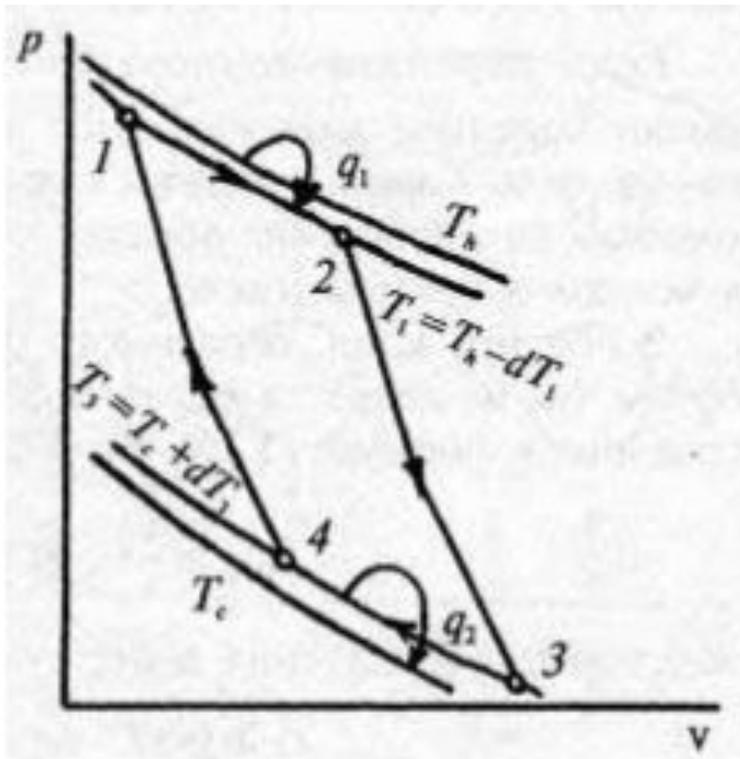
Р. Клаузиус: невозможен самопроизвольный переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому.

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

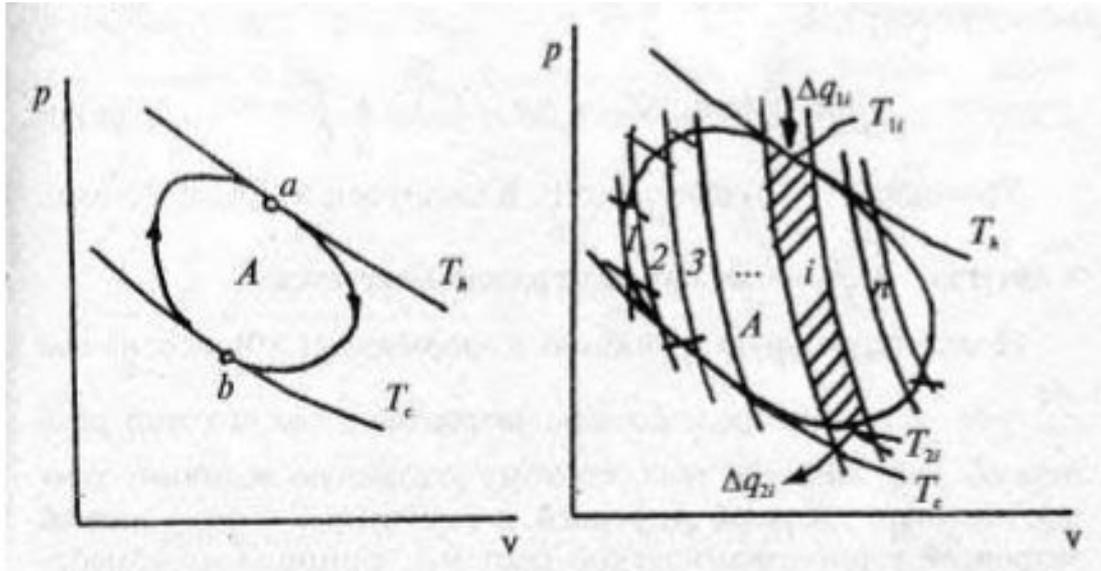
Определение: Работу можно полностью превратить в теплоту, а теплоту, полученную от горячей среды, полностью превратить в работу нельзя, часть необходимо передать холодной среде.

Цикл Карно

1824 г. $Q_1' = Q_1''$.



Энтропия и её изменение



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

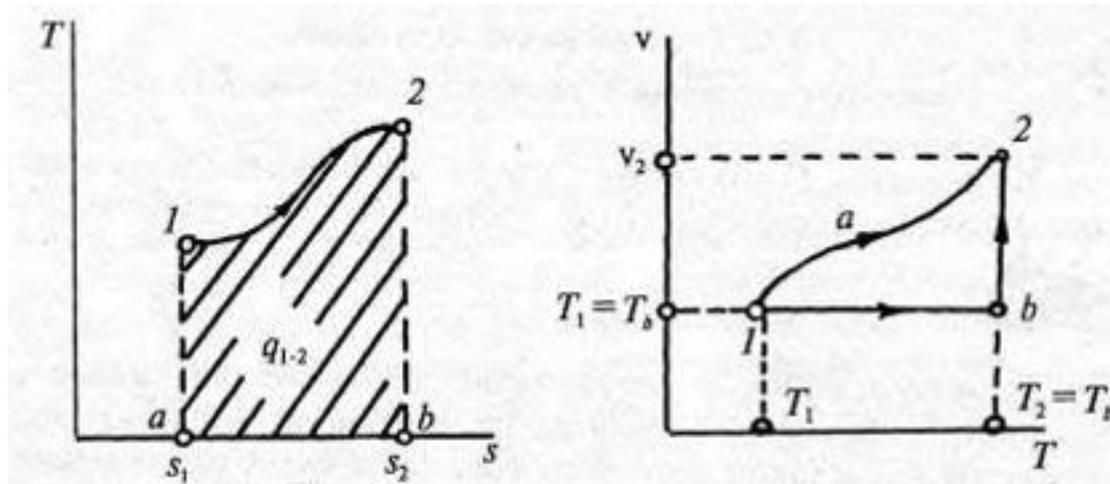
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n (\Delta q_{2i} / T_{2i} + \Delta q_{1i} / T_{1i}) = \oint_A \frac{dq}{T} = 0.$$

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

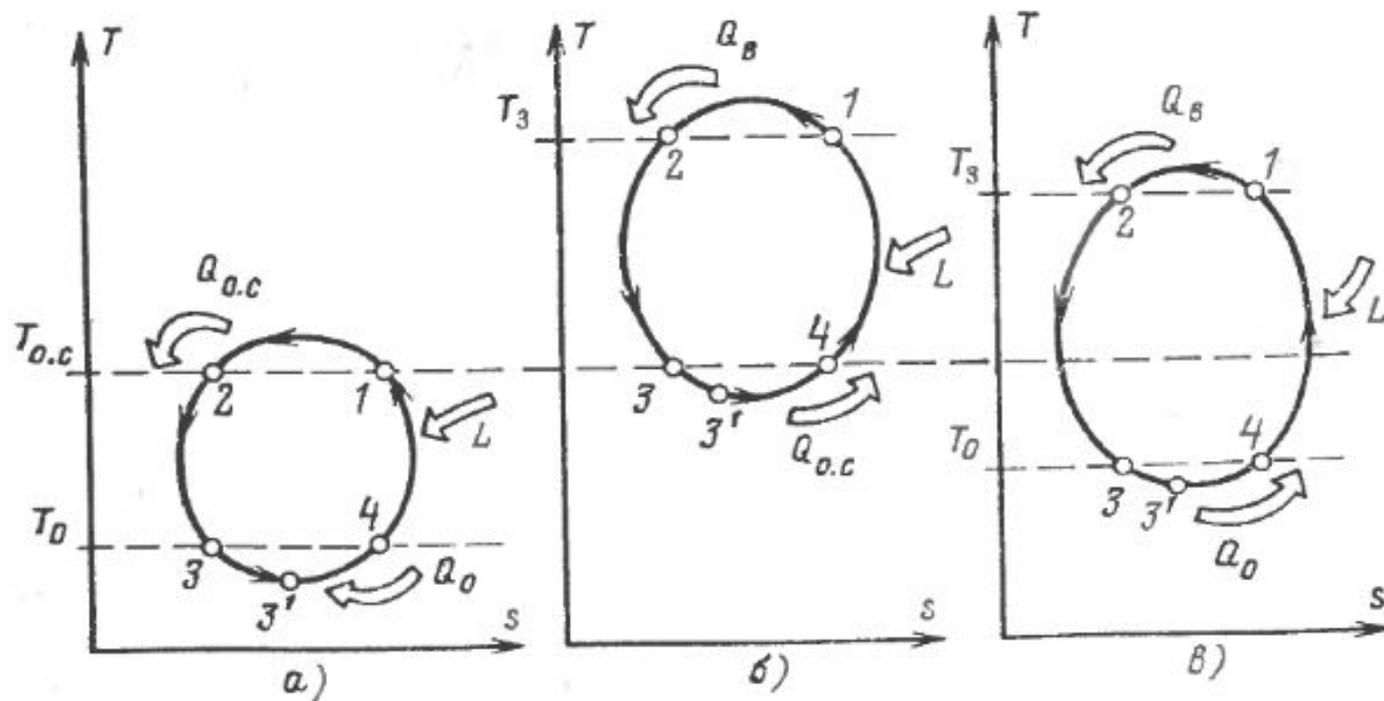
Энтропия – мера необратимости процессов в изолированной системе.

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

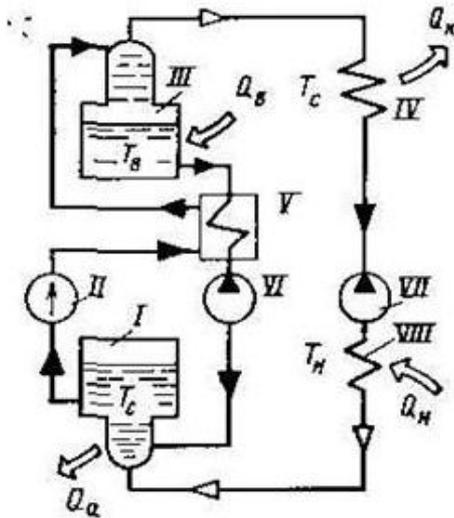


Схема повышающего сорбционного трансформатора

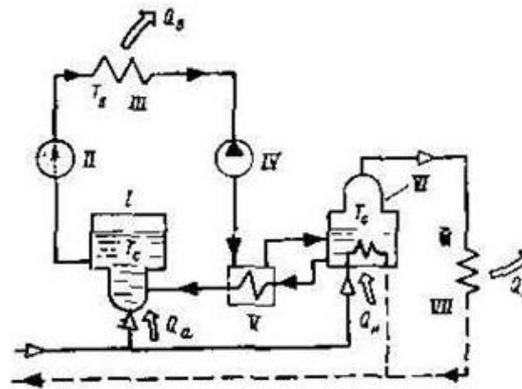
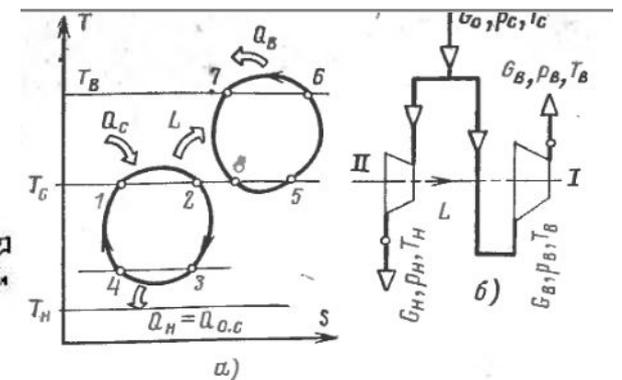


Схема и цикл расщепляющего сорбционного трансформатора



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

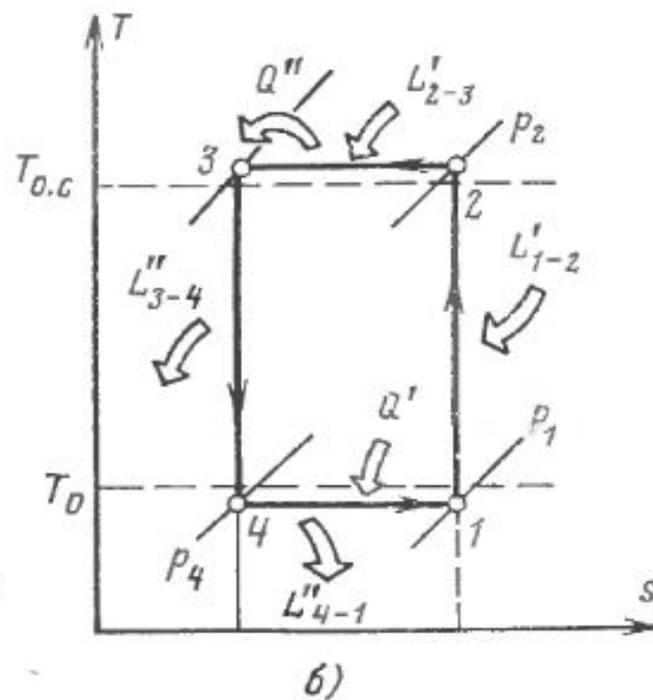
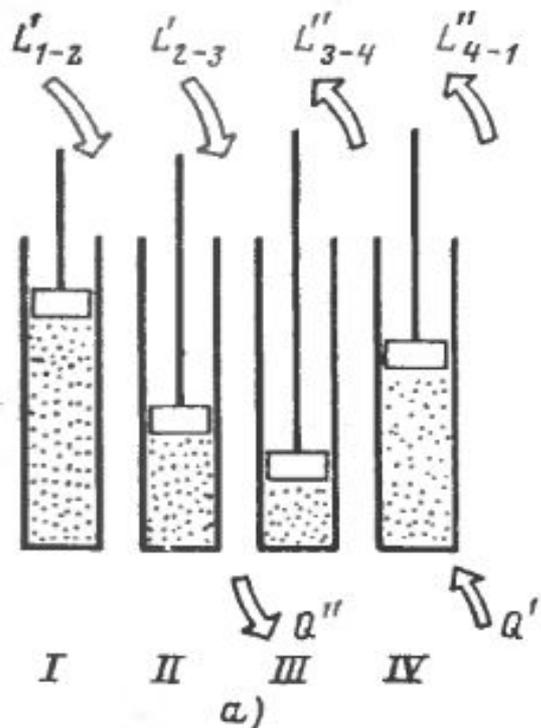
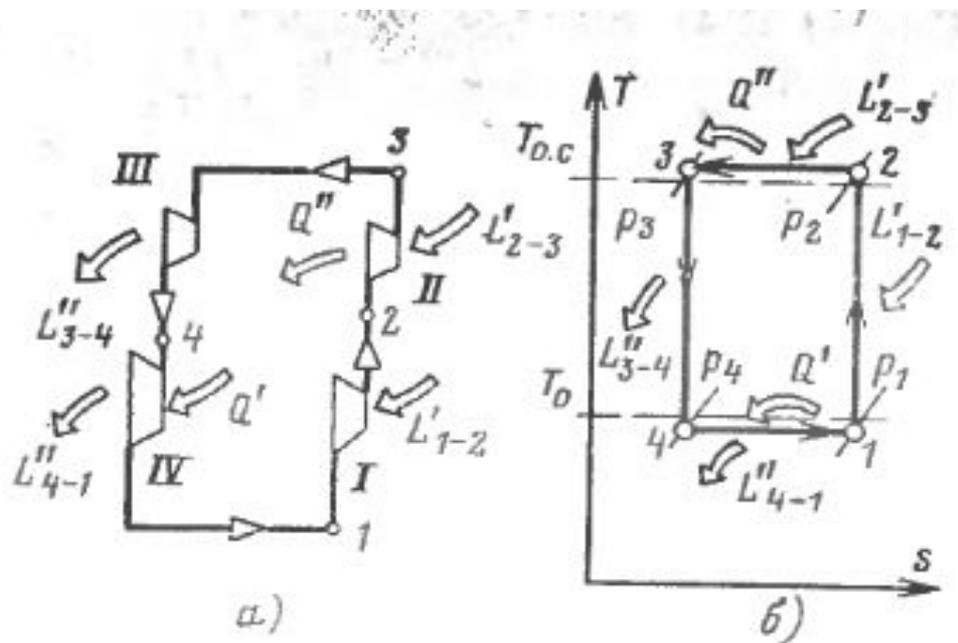


Схема установки для осуществления обратного цикла Карно со стационарными процессами

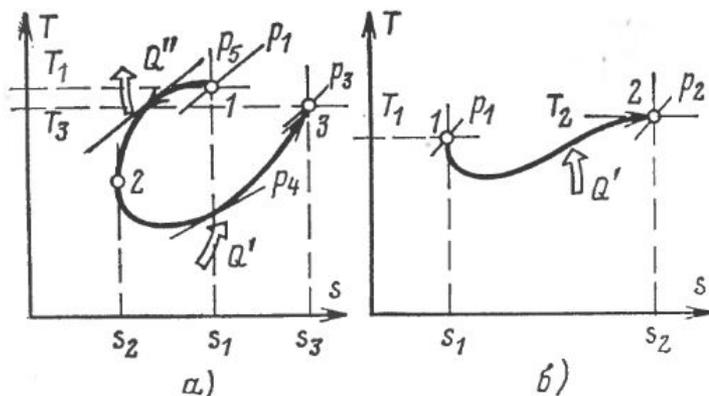


Трансформаторы с квазициклическими процессами

Совершается разомкнутый процесс – квазицикл.

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

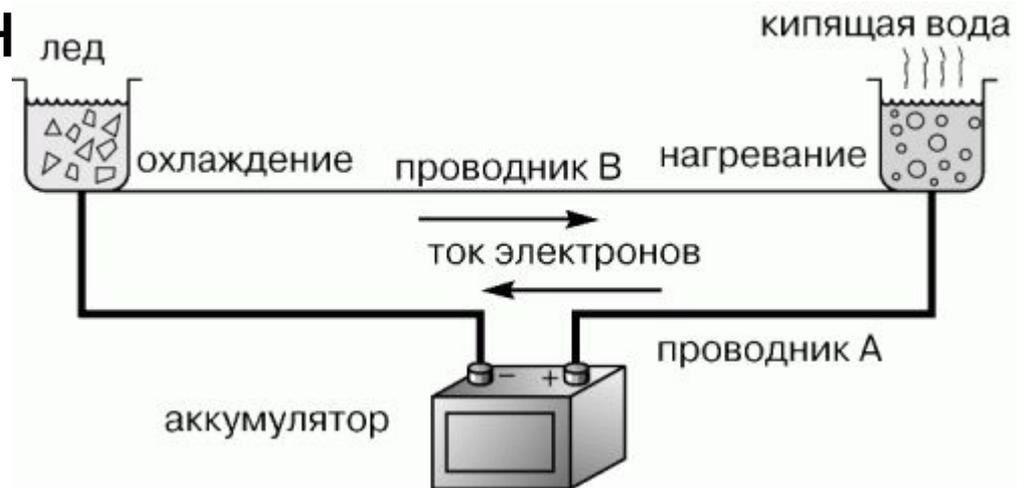
Уравнение энергетического баланса



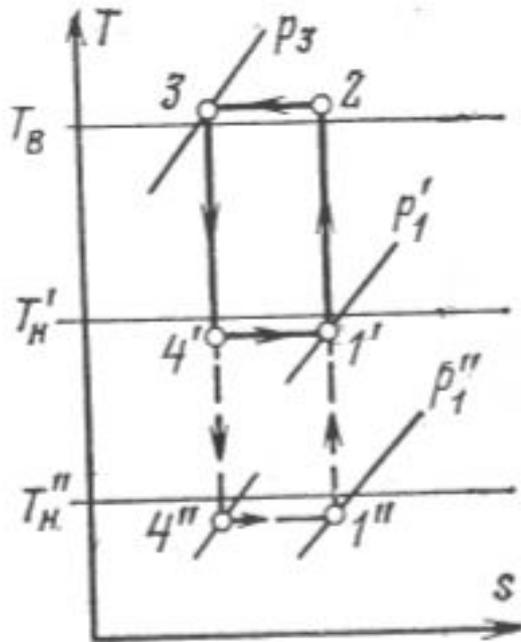
Б - разомкнутый процесс
А - квазицикл

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



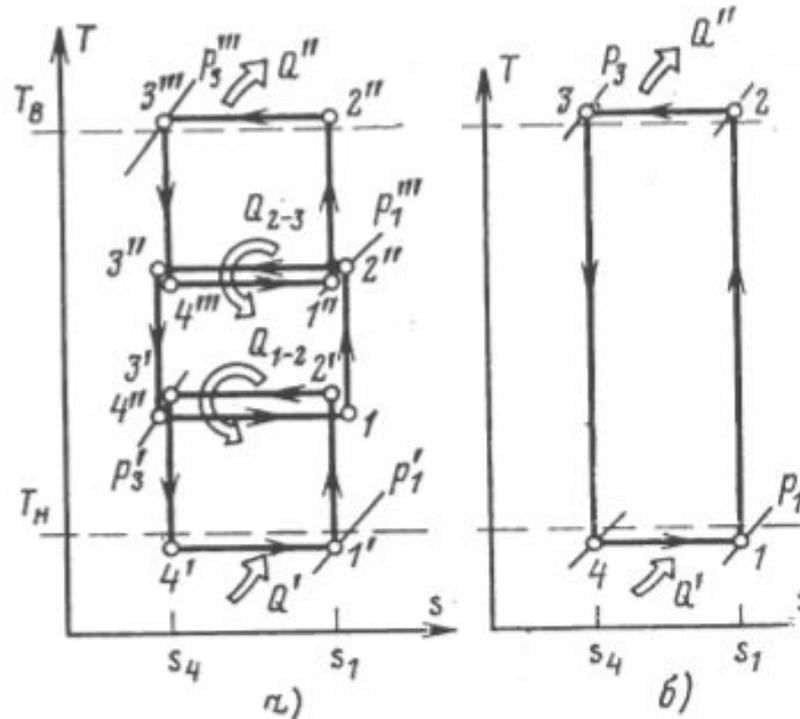
Первый каскадный трансформатор придумал Р. Питке в 1877 г, работающий на 2-х рабочих телах CO_2 и SO_2 .

Регенерация была изобретена Р. Стирлингом 1816 г.

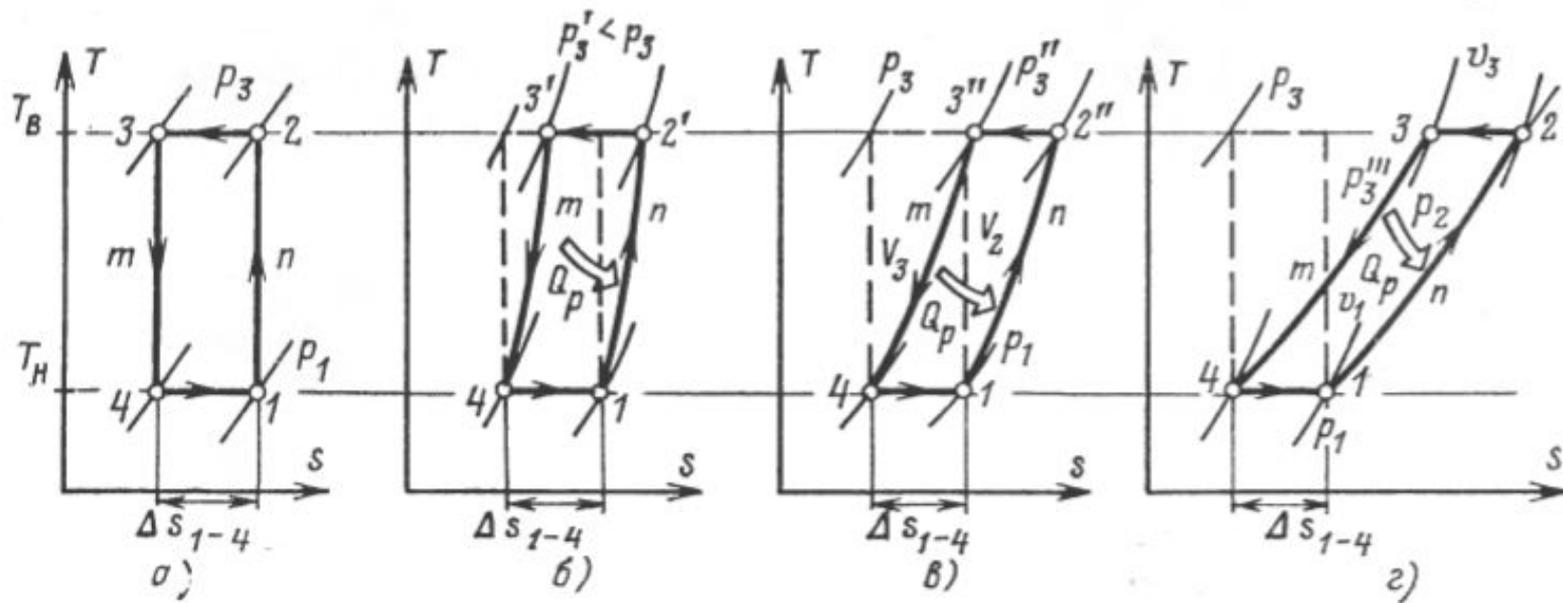
Схема 2-х обратных циклов Карно, работающих в разных температурных интервалах.

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;