

Энергомашиностроение.

6

Лекция №23

Циклы холодильных машин

- Циклы холодильных машин. Общие сведения и основные определения.
- Типы холодильных машин.
- Циклы парокомпрессионных холодильных машин. Общие сведения и основные определения.
- Цикл абсорбционной холодильной машины.
- Цикл теплового насоса. Термохимический трансформатор теплоты.
- Получение сжиженных газов.

Циклы холодильных машин. Общие сведения и основные определения

Охлаждение тел до температуры ниже температуры окружающей среды и поддержание их в охлажденном состоянии в течение длительного времени составляют основную задачу сравнительно молодой отрасли техники — холодильной. Для многих производств такое охлаждение различных веществ, или, как его называют, **производство холода**, является неотъемлемой частью технологических процессов. В быту и на транспорте производство холода получило широкое распространение при хранении и транспортировании продуктов и для создания «искусственного микроклимата» (кондиционирование воздуха). Для многих научных исследований требуется охлаждать исследуемые объекты до очень низких температур.

Процессы, связанные с производством холода, осуществляются в комплексе специальных устройств, куда входят машины, теплообменные аппараты, арматура и т. п. Такой комплекс, в сущности, представляет собой установку, подобную теплосиловой, но принято называть ее **холодильной машиной**.

С термодинамической точки зрения производство холода — это процесс передачи теплоты от менее нагретых тел к более нагретым. Как следует из второго закона термодинамики, такой процесс не может протекать самопроизвольно. Для его обеспечения необходима затрата некоторого количества энергии. Чаще всего энергия затрачивается в форме работы. Поэтому обычно подробному рассмотрению подвергают процессы, протекающие в холодильных установках, потребляющих работу от некоторого внешнего источника. В таких установках в отличие от теплосиловых установок должен осуществляться обратный, или, как его часто называют, **холодильный цикл**.

Искусственное охлаждение - отвод теплоты от тела, имеющего температуру более низкую, чем температура самого холодного тела в окружающей среде.

$$q_2 = q_1 - l \quad (8)$$

$$\frac{q_2}{l} = \varepsilon \quad (9)$$

ε – холодильный коэффициент цикла.

Важной характеристикой холодильной машины является количество теплоты, отводимой от охлаждаемого тела в единицу времени. Эту величину называют **холодопроизводительностью холодильной машины**.

Холодопроизводительность, отнесенная к единице рабочего тела, при помощи которого осуществляется цикл, т. е. к единице так называемого **холодильного агента**, называется **удельной холодопроизводительностью**.

Обычно пользуются массовой холодопроизводительностью, т. е. отнесенной к 1 кг холодильного агента. Применяется также понятие объемной холодопроизводительности, отнесенной к единице объема рабочего тела (холодильного агента), взятого при некоторых условно выбранных параметрах.

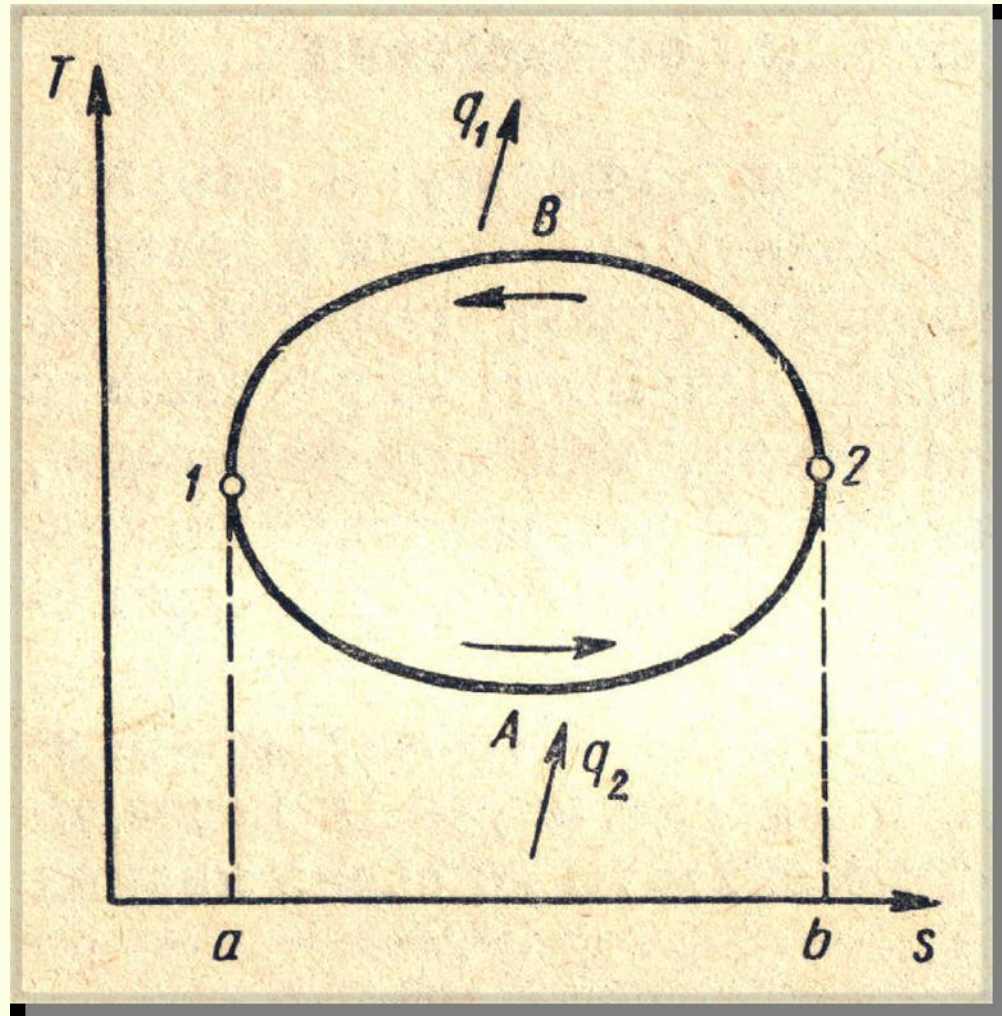


Рис. 1. Изображение обратного цикла в координатах sT

Типы холодильных машин

1. Воздушная холодильная машина.

$$l = l_k - l_\partial \quad (10)$$

$$l = (h_2 - h_1) - (h_3 - h_4) \quad (11)$$

$$q_2 = \pi l d 4 l e = h_1 - h_4 \quad (12)$$

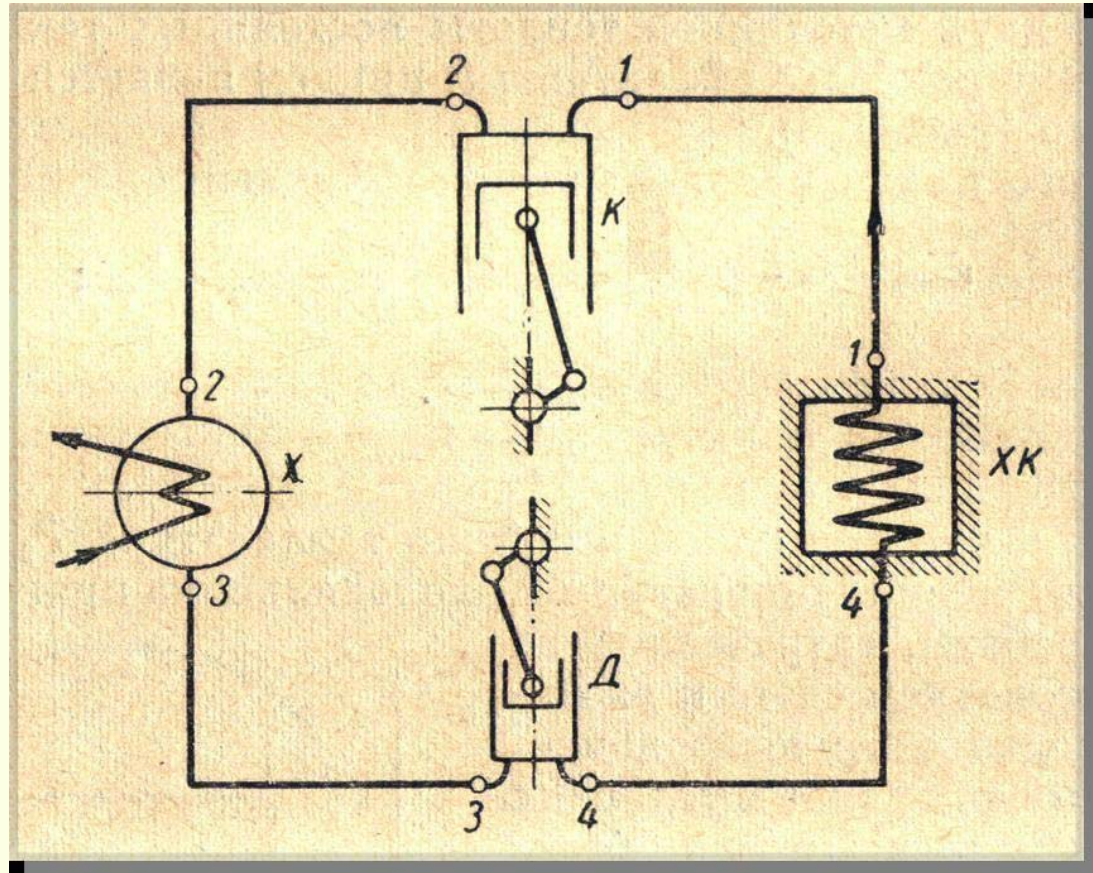


Рис. 3. Схема ВХМ: ХК – холодильная камера, К – компрессор, Х – холодильник, Д – детандер

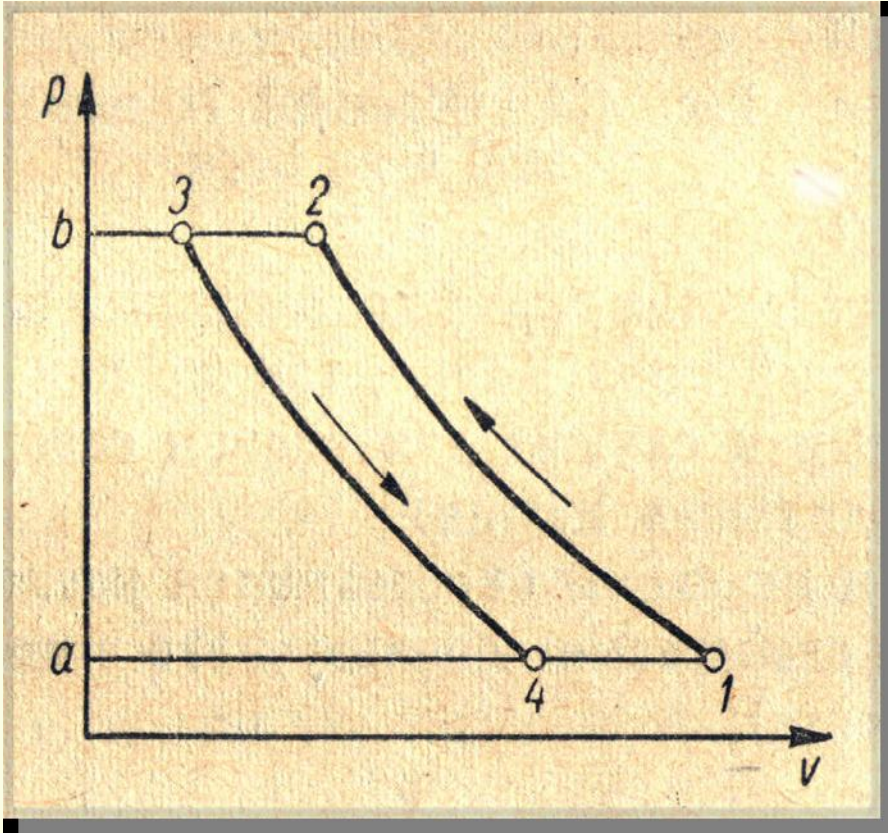


Рис. 4а. Изображение цикла
воздушной холодильной
машины

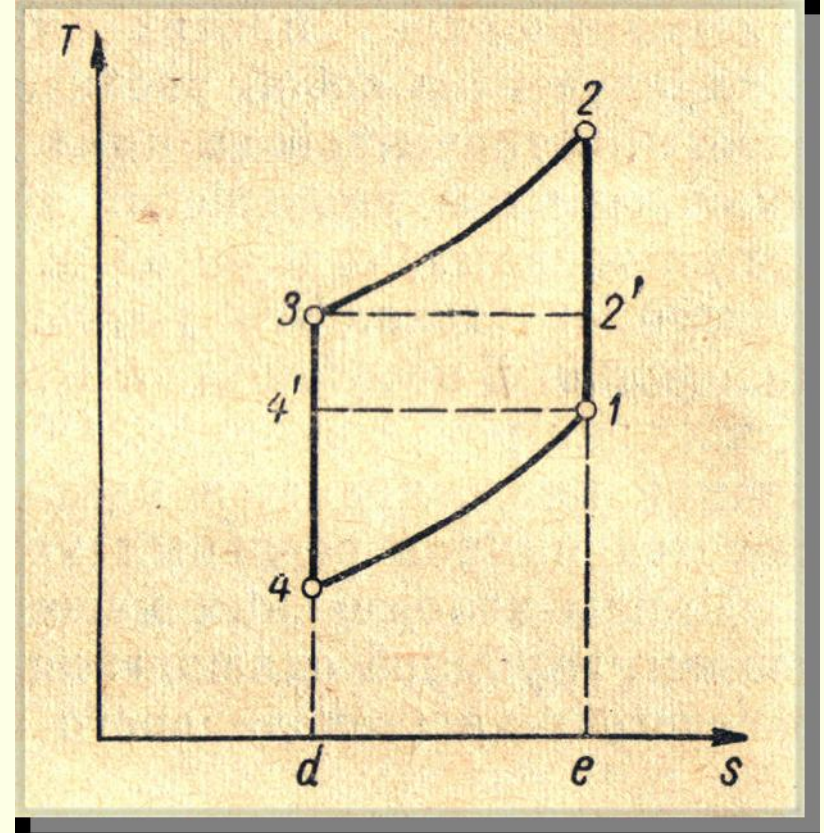


Рис. 4б. Изображение цикла
воздушной холодильной
машины

$$l = c_p(T_2 - T_1) - c_p(T_3 - T_4) \quad (13)$$

$$q_2 = c_p(T_1 - T_4) \quad (14)$$

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} = \frac{c_p(T_1 - T_4)}{c_p(T_2 - T_1) - c_p(T_3 - T_4)}$$

$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_1) - (T_3 - T_4)} \quad (15)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{(T_2 - T_1) - (T_3 - T_4)}{T_1 - T_4}} = \frac{1}{\frac{(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)}{T_1 - T_4}}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4} - 1} \quad (16)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}; \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (20)$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4} \quad (21)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{T_2}{T_1} - 1}; \quad \varepsilon = \frac{1}{\frac{T_3}{T_4} - 1} \quad (22)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}; \quad \varepsilon = \frac{1}{\left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} \quad (23)$$

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_2 - T_1}; \quad \varepsilon = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \quad (24)$$

Формула холодильного коэффициента для идеального цикла ВХМ

2. Паровая компрессорная холодильная машина. В паровой компрессорной холодильной машине в качестве рабочего тела (холодильного агента) применяются легкокипящие жидкости, т. е. вещества, имеющие при любой температуре цикла невысокие давления насыщения.

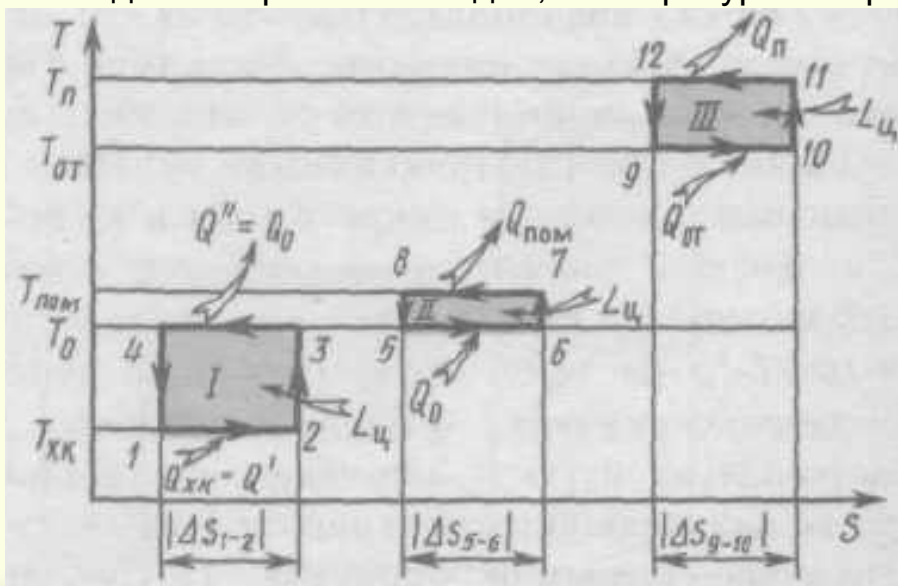
3. Абсорбционные холодильные машины. Абсорбцией называется процесс поглощения одного тела другим. На этом принципе работают абсорбционные холодильные машины.

4. Пароэжекторные холодильные машины. Особенностью пароэжекторной установки является то, что в ней вместо компрессора для сжатия холодильного агента применяется паровой эжектор. Принцип действия пароэжектора заключается в следующем.

Рабочий пар, имеющий давление выше атмосферного, поступает в сопло, где, расширяясь до очень низкого давления, приобретает большую скорость. Вытекающая из сопла струя попадает в камеру смешения, давление в которой, определяемое конечным давлением пара, вытекающего из сопла, будет очень низкое. Вследствие этого в смесительную камеру из системы холодильной установки подсасывается холодильный агент, который и смешивается с вытекающим из сопла паром.

Скорость пара при этом несколько снижается, но остается достаточно высокой. Далее поток поступает в диффузор, где снижается скорость и повышается давление.

5. Газовая (воздушная) холодильная машина. В теплообменнике (ТО) газ, сжатый в компрессоре, охлаждается проточной водой, температура которой повышается от T' до T'' . К всасывает газ из ХК и после адиабатного сжатия подает его в ТО.



Разновидность обратных термодинамических циклов:

- I – холодильный цикл Карно;
- II – цикл Карно для отопительного теплового насоса;
- III – цикл теплового насоса для утилизации низкотемпературной теплоты

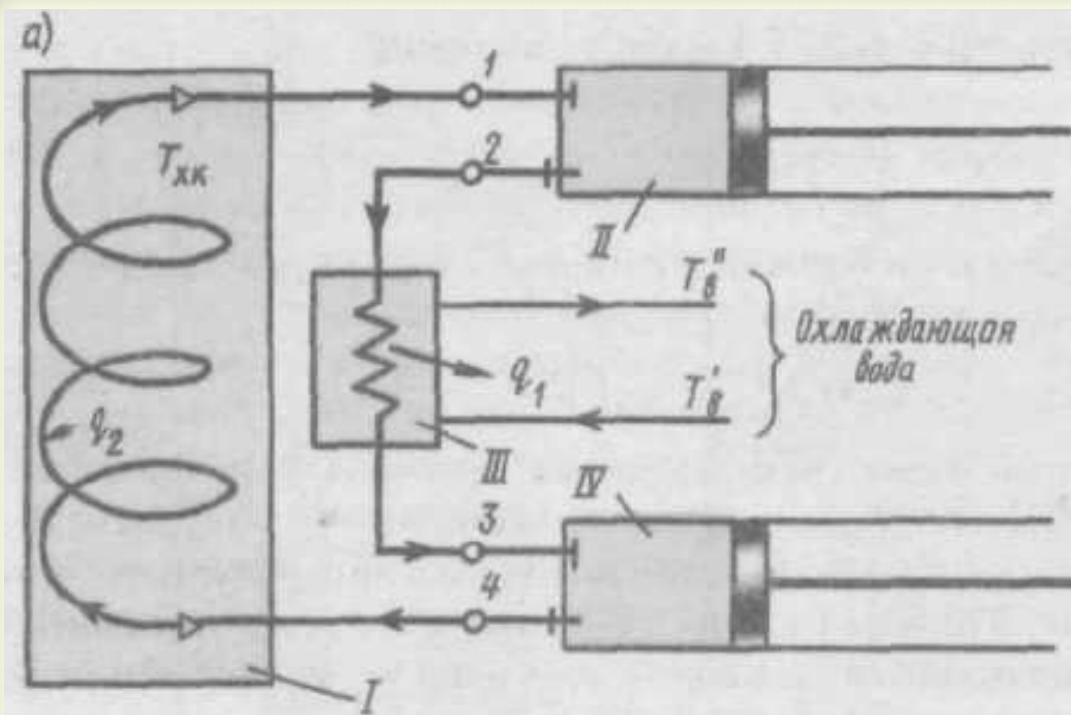
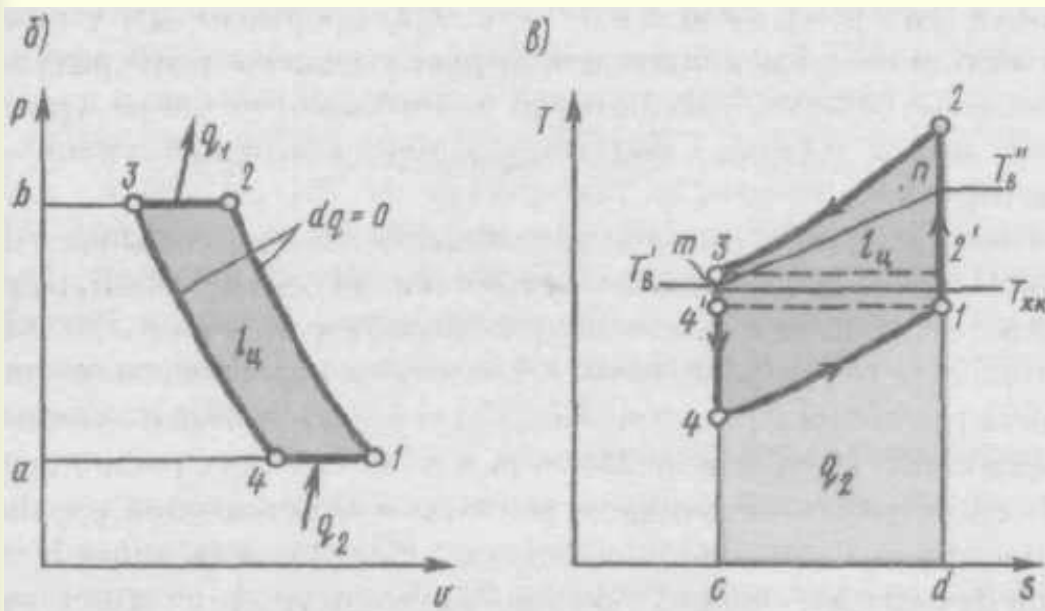


Рис. 5. Газовая холодильная машина: а – схема, I – холодильная камера; II – компрессор; III - теплообменник; IV – пневматический двигатель (детандер); б - циклы в v - p и s - T координатах



$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} = \\ &= \frac{1}{\frac{T_3}{T_4} - 1} = \\ &= \frac{1}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{(k-1)/k} - 1} \end{aligned}$$

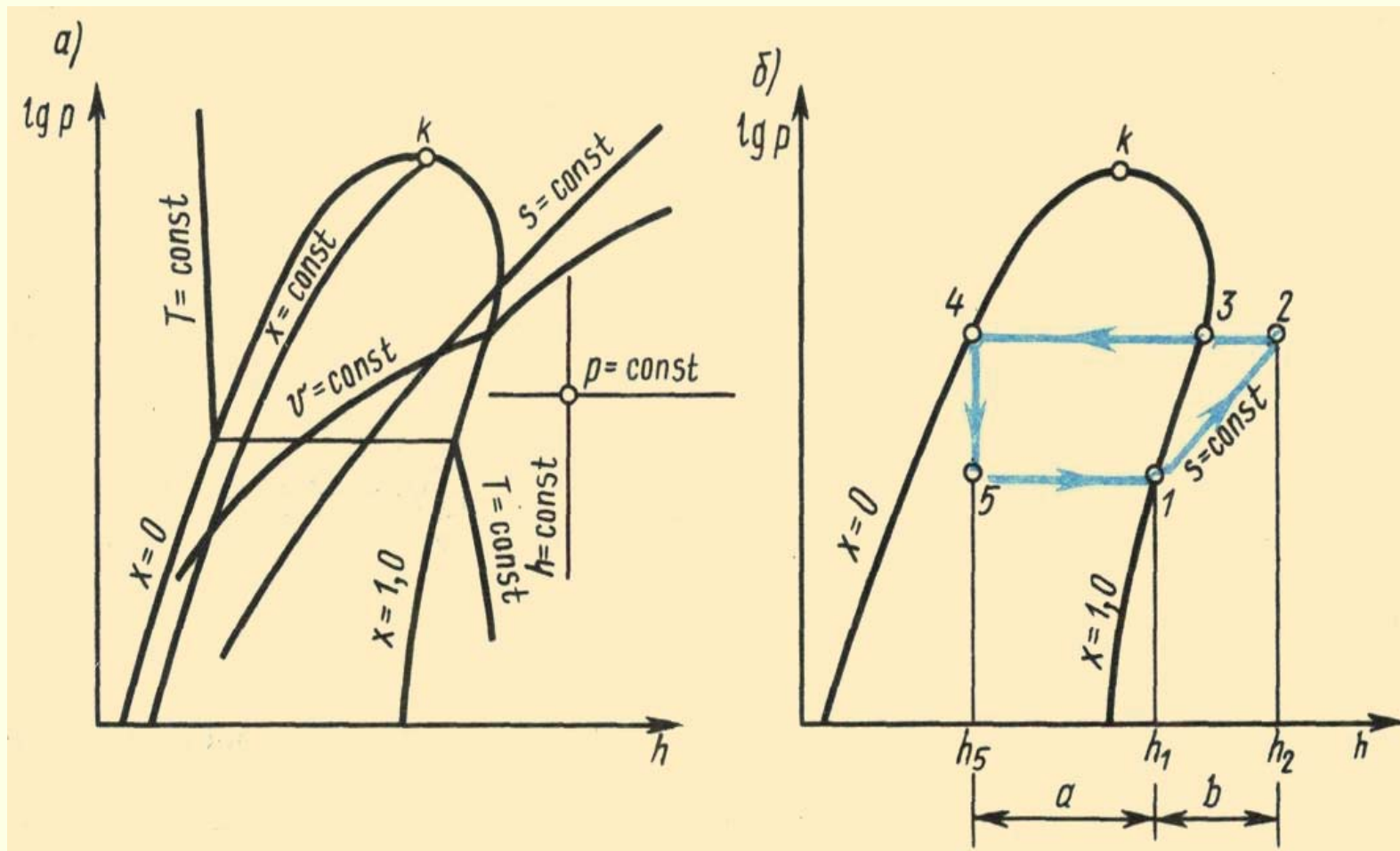


Рис. 7. h - lgr - диаграмма: а - схема диаграммы; б - парокompрессионный цикл на h - lgr диаграмме

С помощью данной диаграммы можно определить холодильный коэффициент без вычисления площадей в виде отношения

$$\varepsilon_x = a / b = (h_1 - h_5) / (h_2 - h_1)$$

Цикл абсорбционной холодильной машины

Абсорбция - это способность некоторых тел при определенных условиях поглощать другие тела.

Коэффициент теплоиспользования – это величина равная отношению теплоты, отнятой в холодильной камере (полезный коэффициент) к теплоте, затраченной в парогенераторе.

$$\zeta_a = \frac{q_2}{q_1}$$

1 - парогенератор; 2 - конденсатор; 3,8 - редукционный вентиль; 4 - испаритель; 5 -холодильная камера; 6 - абсорбер; 7 - насос.

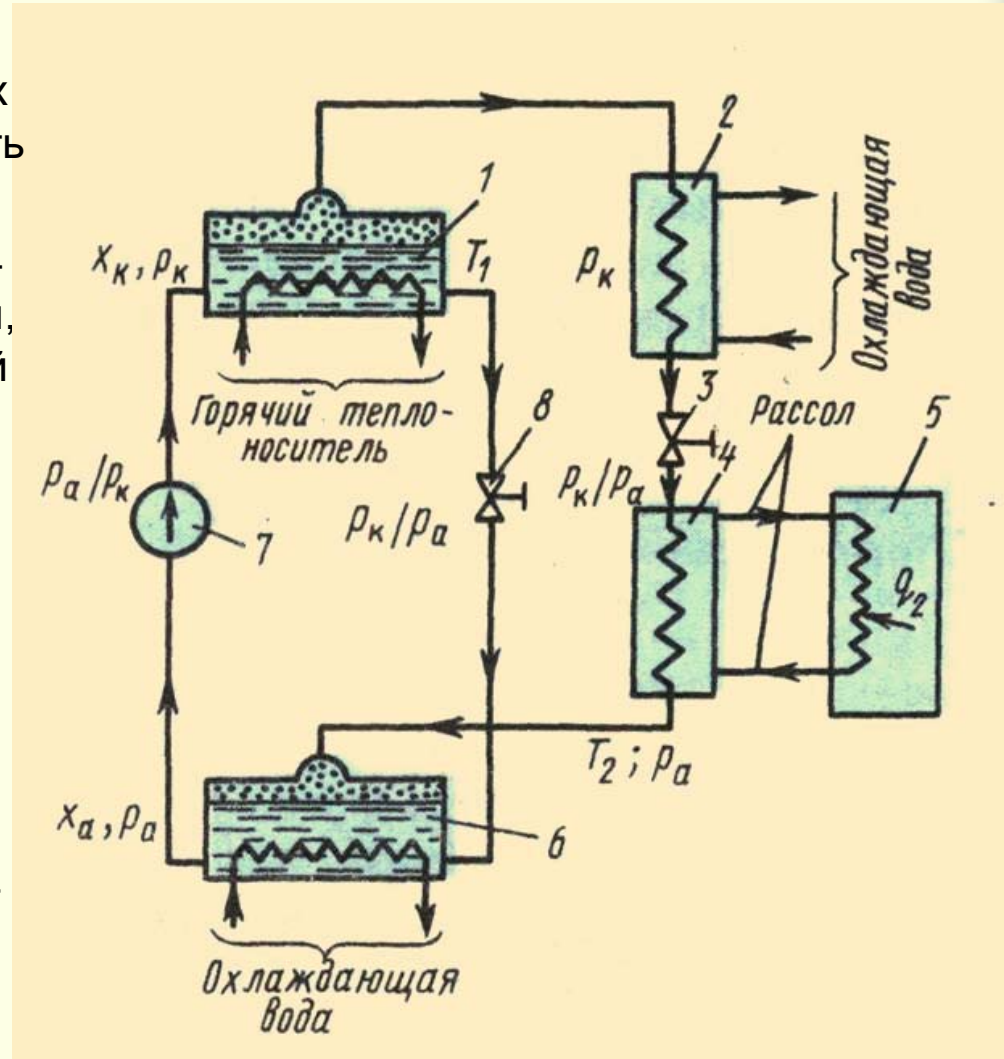


Рис. 8. Схема простейшей абсорбционной холодильной машины

Цикл теплового насоса

Термохимический трансформатор теплоты

Тепловым насосом называют машину, работающую по обратному термодинамическому циклу и предназначенную для передачи более нагретому телу теплоты, отбираемой от менее нагретого (за счет затраты работы цикла)

Отопительный коэффициент - это эффективность обратного отопительного цикла (отношение теплоты, передаваемой отапливаемому помещению к работе цикла)

$$\varphi_t = \frac{q_1}{|l_{\text{ц}}|}$$

$$q_1 = q_2 + |l_{\text{ц}}| > |l_{\text{ц}}| \quad \varphi_t > 1$$

Термотрансформаторами называют устройства, предназначенные для переноса теплоты с одного уровня на другой и сочетающие в себе прямой и обратный термодинамические циклы

Коэффициент преобразования теплоты - это эффективность циклов термотрансформатора

$$\psi = Q_n / (Q_u + Q_{u2})$$

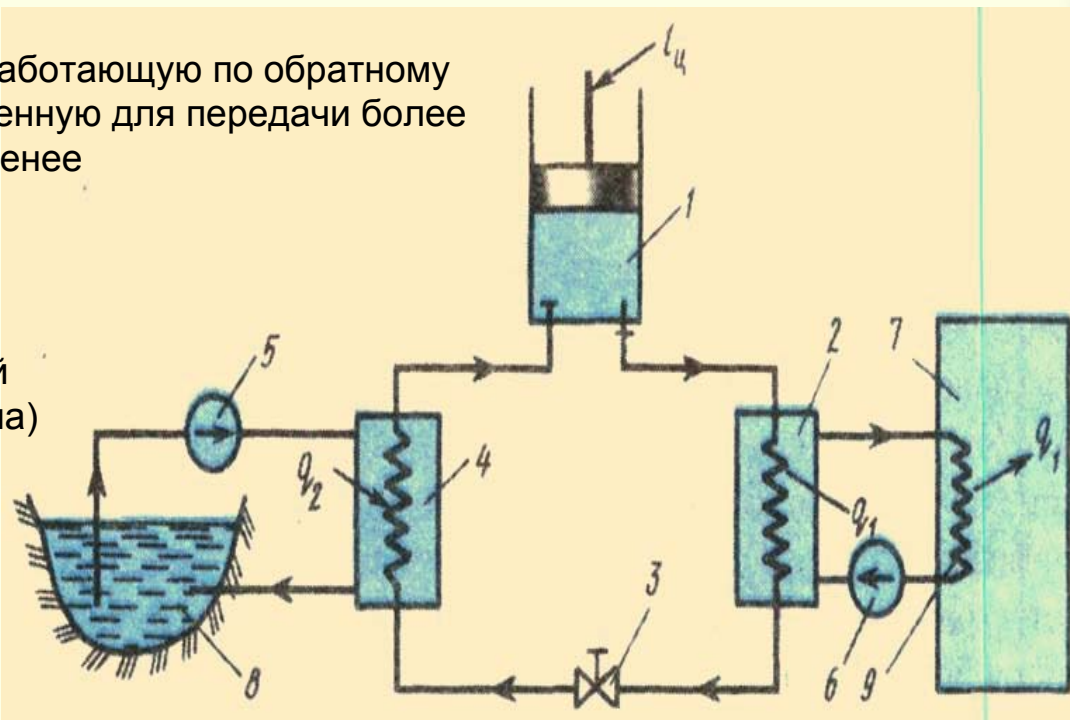


Рис. 9. Схема теплового насоса:

1 - компрессор; 2 - конденсатор; 3 - вентиль;
4 - испаритель; 5,6 - насос; 7 - потребитель;
8 - водоем; 9 - отопительная система

Q_l – полезный эффект (теплота, полученная потребителем)

Q_u, Q_{u2} – затраченный эффект (количества теплоты, подведенные от источников, имеющих температуры $> 0^{\circ}\text{C}$.)

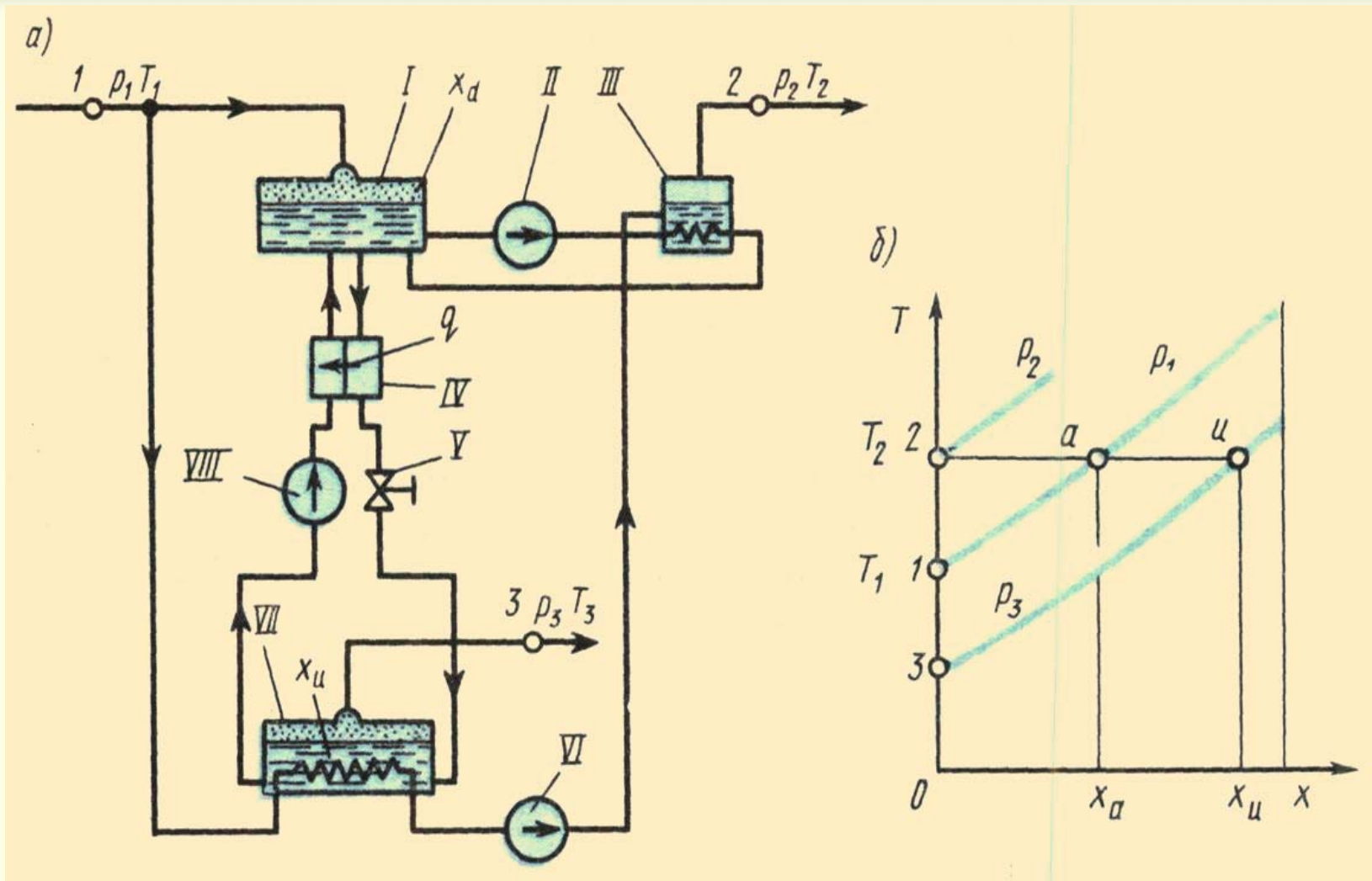


Рис. 10. Расщепительный термохимический трансформатор теплоты
 а - схема установки; б - процесс в координатах x, T :
 I - абсорбер; II, VI, VIII - насосы; III - генератор; IV - теплообменник;
 V - редукционный клапан; VII - испаритель

Получение сжиженных газов

Для получения сжиженных газов могут быть использованы дросселирование (эффект Джоуля-Томсона), расширение газа, охлаждение рабочего тела специальными хладагентами, вакуумирование сжиженного газа, вихревой эффект Ранка, явление Пельтье, адиабатное размагничивание.

Основным методом сжижения газов считают **каскадный метод**, представляющий собой совокупность нескольких парокомпрессионных холодильных циклов; **метод Лунде**, в котором для сжижения газов используется адиабатное дросселирование предварительно охлажденного газа, и **метод Клода**, в котором помимо адиабатного дросселирования газа используется адиабатное расширение с отдаче работы в детандере.

I - компрессор;
II - холодильник
III - теплообменник
IV - дросс. вентиль
V - сосуд;
VI - вентиль

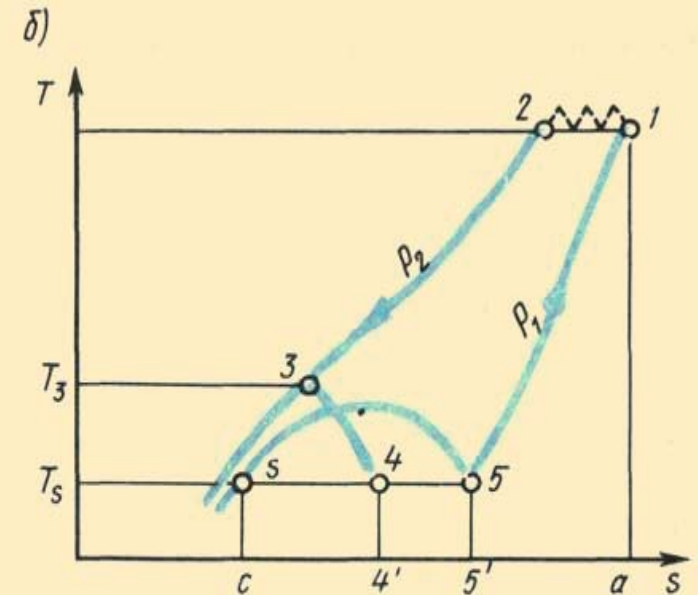
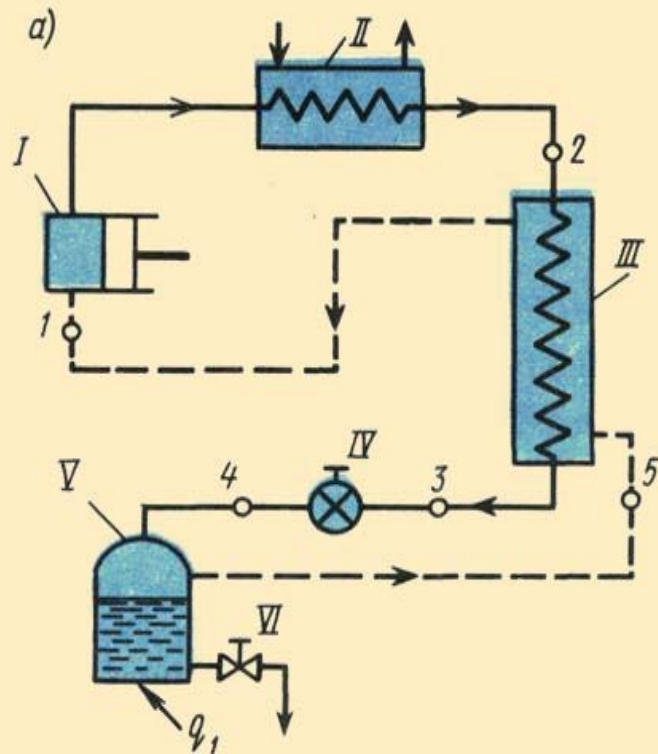


Рис. 11. Холодильная установка с дросселированием предварительно охлажденного газа: а - схема; б - цикл в (s, T) ¹⁶

Холодильный коэффициент теоретического цикла с дросселированием предварительного охлажденного газа можно определить как :

$$\varepsilon_x = q_1 / l_k = (h_1 - h_2) / (T_1(s_1 - s_2) - (h_1 - h_2))$$

По мере повышения давления холодопроизводительность цикла возрастает и достигает максимума при p_2 , равном давлению инверсии $p_{и}$. Это объясняется тем, что при $p_2 = p_{и}$ изотермы в системе s, h имеют минимум, а минимум энтальпии соответствует условию

$$(\partial h / \partial s)_T = T - \nu(\partial T / \partial \nu)_p = 0$$

Принцип Фаулера и Гугенгейма (принцип недостижимости абсолютного нуля).

За конечное число процессов, сколь угодно близких к идеальным, невозможно охладить термодинамическую систему до абсолютного нуля.

Для получения сверхнизких температур используют термомагнитную систему, рабочим телом которой являются кристаллы парамагнитной соли, содержащей ионы трехвалентных металлов гадолиния, железа, хрома или цезия.

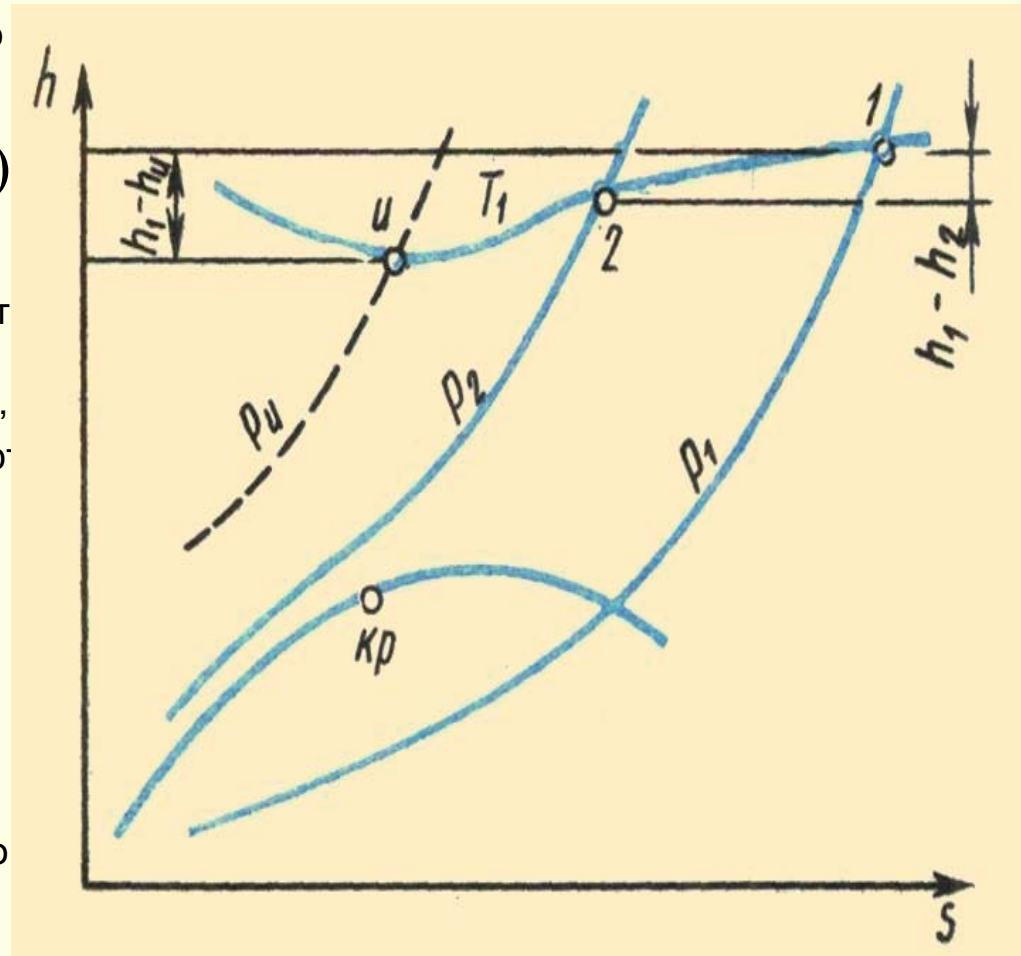


Рис. 12. Процесс изотермного сжатия газа (в координатах s, h)

Контрольные вопросы

- Циклы холодильных машин. Общие сведения и основные определения
- Типы холодильных машин
- Циклы парокомпрессионных холодильных машин. Общие сведения и основные определения
- Цикл абсорбционной холодильной машины
- Цикл теплового насоса. Термохимический трансформатор теплоты
- Получение сжиженных газов