

Энергомашиностроение.

6

Лекция №19 КОМПРЕССОРЫ

- Назначение компрессоров и схема их классификации.
- Схема устройства поршневого одноступенчатого компрессора.
- Идеальный одноступенчатый поршневой компрессор.
- Особенности работы реального одноступенчатого компрессора.
- Двухступенчатый идеальный поршневой компрессор.
- Экономичность поршневого компрессора.
- Турбокомпрессоры.

Назначение компрессоров и схема их классификации

Компрессором называется машина-орудие для сжатия и перемещения под давлением выше атмосферного различных парогазообразных тел.

По роду сжимаемых веществ различают компрессоры воздушные (пневматические), углекислотные, аммиачные, гелиевые и т. п. По устройству и принципу работы компрессоры делят на поршневые, шестеренчатые, винтовые, ротационные, мембранные, турбокомпрессоры и др.

Схема устройства поршневого одноступенчатого компрессора

Цилиндр компрессора снабжают охлаждающим устройством. Чаще всего применяют водяное охлаждение: через специальную водяную рубашку, окружающую цилиндр и его крышку, под напором пропускают охлаждающую воду. Иногда, применяют воздушное охлаждение: цилиндр компрессора, имеющий специальные охлаждающие ребра, обдувается воздухом.

Поршневой компрессор, как и всякую поршневую машину, невозможно выполнить так, чтобы при крайнем положении его поршня (верхняя мертвая точка) между его кромкой и крышкой цилиндра не остался большой или меньший объем, называемый **объемом мертвого пространства**. На индикаторной диаграмме этому пространству соответствует объем V_0 . Остающийся в этом объеме к концу процесса нагнетания газ при обратном ходе поршня расширяется и к началу всасывания имеет давление, близкое к давлению свежего всасываемого газа.

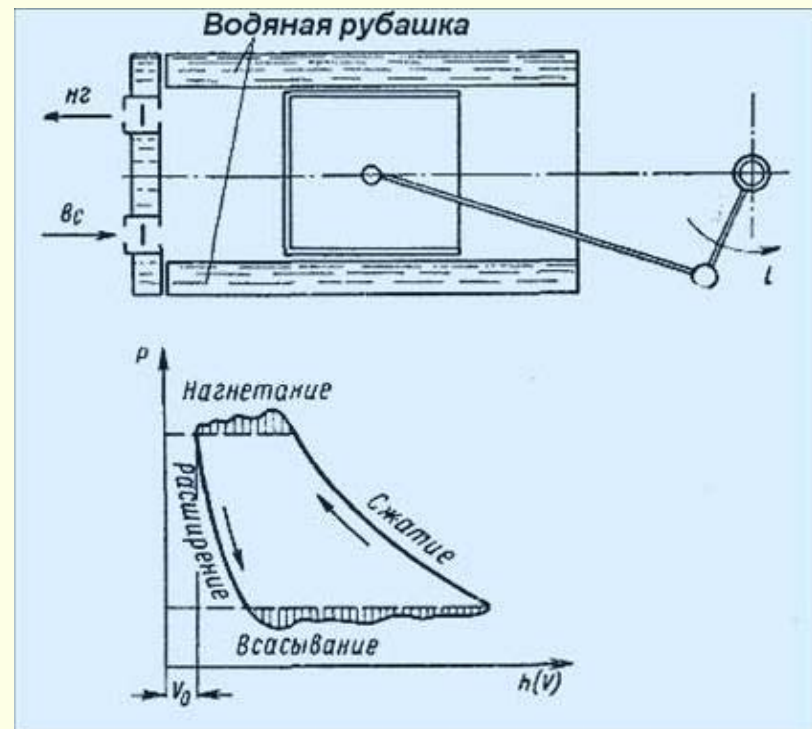


Рис. 1. Схема устройства и индикаторная диаграмма одноступенчатого поршневого компрессора

Рассмотрение термодинамической стороны рабочего процесса поршневых компрессоров удобно начать с так называемого *идеального одноступенчатого компрессора*.

Идеальный одноступенчатый поршневой компрессор

Идеальным поршневым называют компрессор, который не имеет объема мертвого пространства и клапаны которого не оказывают никаких гидравлических сопротивлений всасываемому и нагнетаемому газу, а в процессе сжатия и нагнетания обеспечивается абсолютная герметичность рабочей полости цилиндра. Поршень такого компрессора движется вдоль оси цилиндра без трения.

Индикаторная диаграмма идеального компрессора приведена на рис. 2. Давления на линиях всасывания a_1 и нагнетания $2b$ постоянны. Несмотря на это, процессы a_1 и $2b$ не являются термодинамическими процессами. Эти процессы характеризуются переменными количествами рабочего и постоянством параметров состояния его. Поэтому индикаторную диаграмму можно представлять только в координатах Vp , где V в м³ - объем, описываемый поршнем при движении. В дальнейшем для упрощения всех выводов принимается, что за один рабочий цикл в цилиндр всасывается, сжимается в нем и выталкивается из него в нагнетательный трубопровод 1 кг идеального газа.

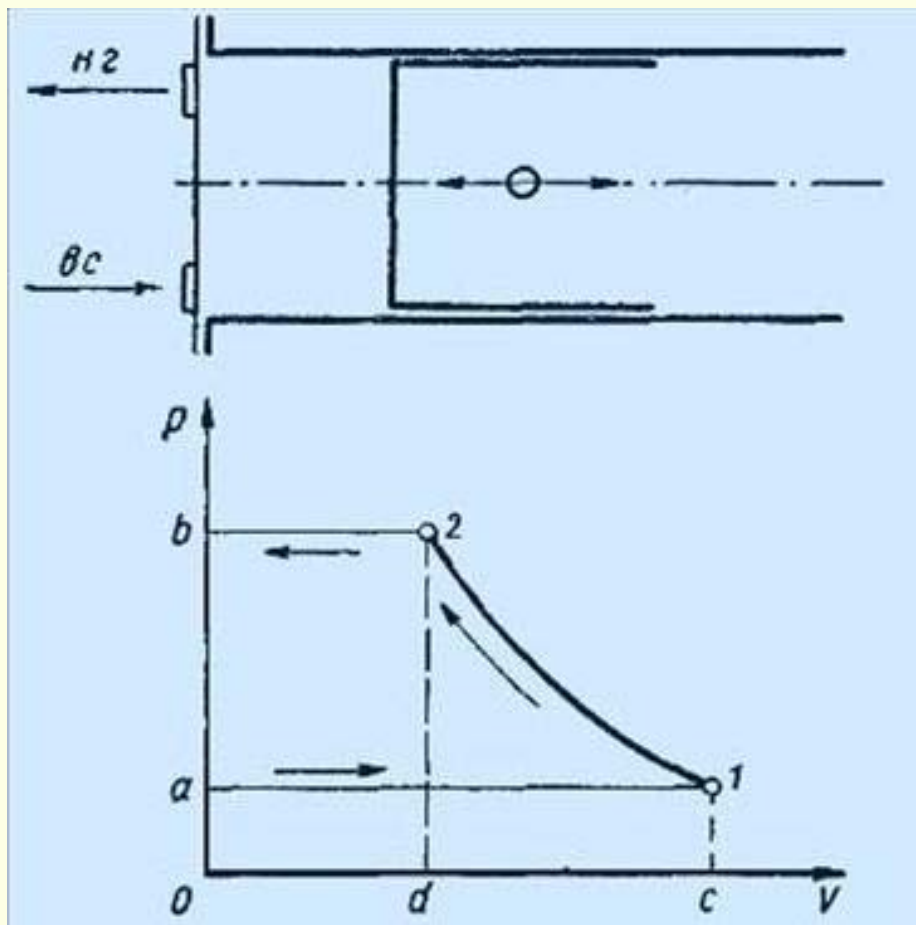


Рис. 2. Идеальный одноступенчатый поршневой компрессор

Процесс сжатия газа в идеальном компрессоре может осуществляться: по адиабате, в случае отсутствия теплообмена с внешней средой; по изотерме, если вся энергия, подводимая за рабочий цикл в форме работы, отводится от газа в форме теплоты, и по политропе, когда осуществляется частичный теплообмен. Определим работу, затрачиваемую на получение сжатого газа в компрессоре при трех процессах сжатия, считая, что сжимается 1 кг газа.

Изотермическое сжатие.

$$l_k = 2,3RT \lg \frac{v_2}{v_1} = 2,3RT \lg \frac{p_1}{p_2} \quad (1)$$

Адиабатное сжатие.

$$l_k = p_1 v_1 + \frac{1}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) - p_2 v_2$$

$$l_k = \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right) \quad (2)$$

$$l = (u_1 - u_2)$$

$$l_k = p_1 v_1 + (u_1 - u_2) - p_2 v_2 = (h_1 - h_2) \quad (3)$$

Политропное сжатие.

$$l_k = p_1 v_1 + \frac{1}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) - p_2 v_2$$

$$l_k = \frac{n}{n-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) = \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right) \quad (3)$$

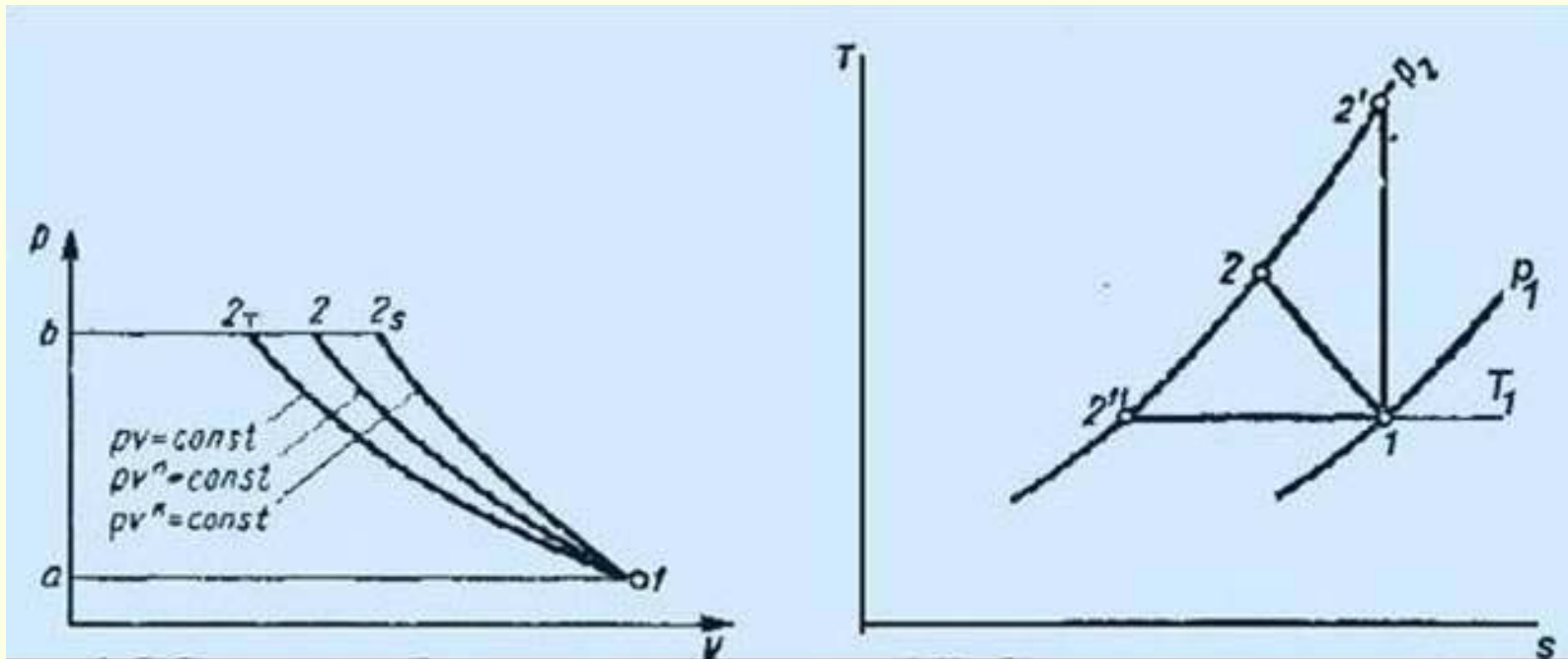


Рис. 3. Рабочие циклы одноступенчатого компрессора при различных процессах

Рис. 4. Изображение различных процессов сжатия в одноступенчатом идеальном компрессоре в диаграмме sT

Особенности работы реального одноступенчатого компрессора

Как указывалось выше, цилиндр реального компрессора всегда имеет объем мертвого пространства. Влияние этого объема на рабочий процесс компрессора чрезвычайно сложно и рассматривается в специальных курсах. В общих же курсах термодинамики можно ограничиться рассмотрением влияния объема мертвого пространства на рабочий процесс компрессора, у которого, так же как и у идеального, всасывающий и нагнетательный тракты не оказывают гидравлического сопротивления протекающему через них газу в процессах всасывания и нагнетания, не происходит теплового взаимодействия между газом и стенками цилиндров и в течение всего рабочего процесса отсутствуют утечки рабочего тела.

Если весь объем, описываемый поршнем, при движении его от одной крайней точки к другой, равен V , то вследствие расширения газа, остающегося в мертвом пространстве, объем всасываемого газа (объем всасывания) $V_{вс} < V$.

$$\frac{V_{вс}}{V} = \varphi \quad (5)$$

называют **объемным коэффициентом (или объемным к. п. д.) компрессора.**

Этим коэффициентом оценивается влияние объема мертвого пространства на производительность компрессора.

Сжимать в одном цилиндре среду выше чем до 5 – 8 ат при давлении всасывания 1 ат практически нецелесообразно. Для больших значений конечного давления сжатия применяют многоступенчатое сжатие (двухступенчатое, трехступенчатое и т. д.).

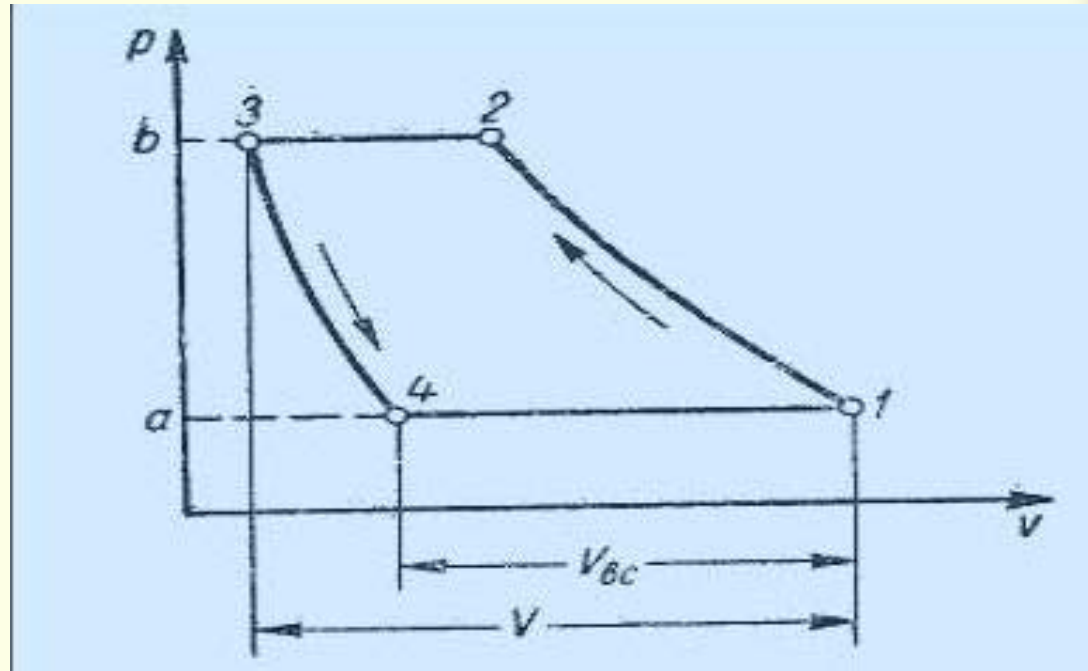


Рис. 5. Рабочий цикл одноступенчатого компрессора с учетом «мертвого» пространства

Двухступенчатый идеальный поршневой компрессор

У реальных компрессоров, правильно рассчитанных и изготовленных и работающих в нормальных условиях, промежуточный холодильник обеспечивает охлаждение газа, называемое **полным**. Расчеты показывают, что выгодно добиваться равенства работ в обеих ступенях компрессора, т. е. $l_I = l_{II}$ этими условиями и определяется искомое давление. Работу каждой ступени находят как работу одноступенчатого компрессора.

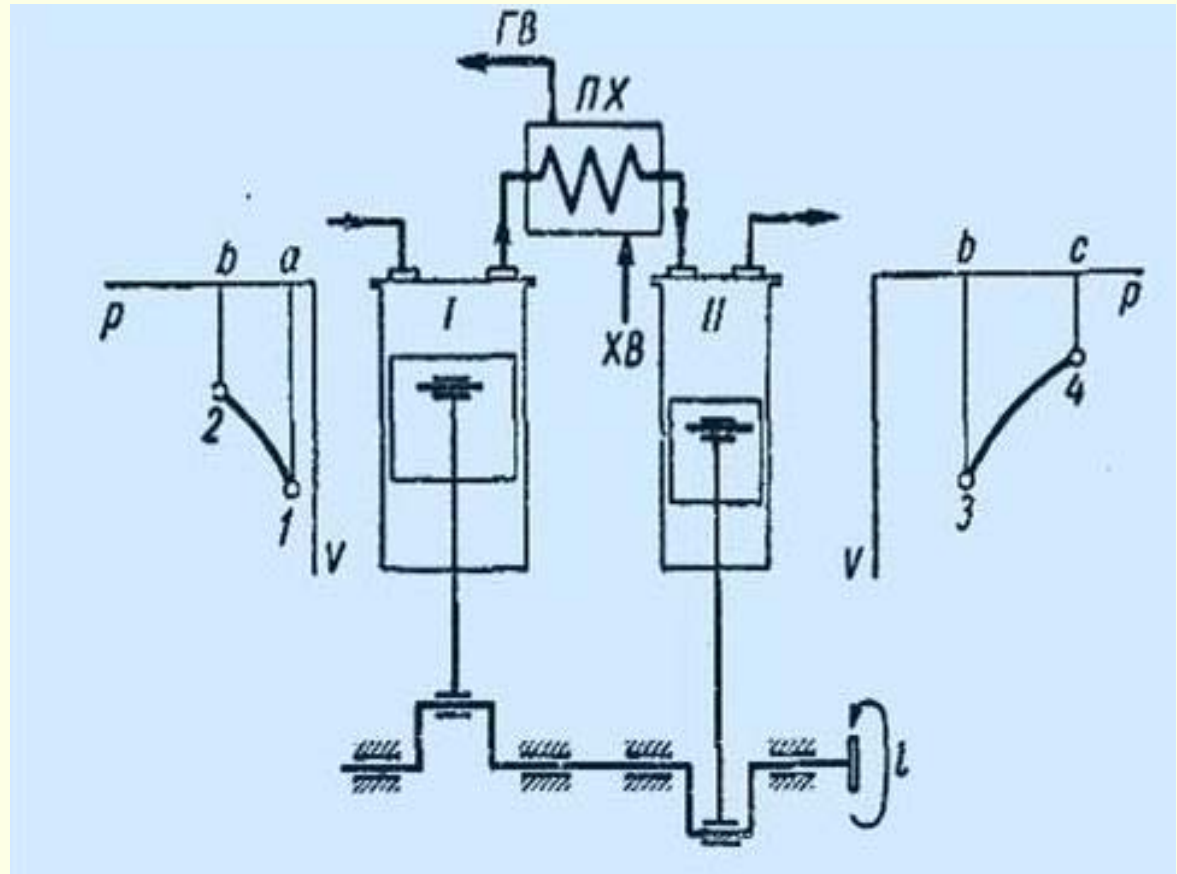


Рис. 6. Схема устройства и индикаторная диаграмма идеального двухступенчатого поршневого компрессора

ХВ – холодный воздух

ПХ – промежуточный холодильник

ГВ – горячий воздух

$$\frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right) = \frac{n}{n-1} p_3 v_3 \left(1 - \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right)$$

Считая, что показатели политроп сжатия в обеих ступенях одинаковы и учитывая, что $p_1 v_1 = p_3 v_3$, так как $t_1 = t_3$, получаем

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}$$

$$p_2 p_3 = p_1 p_4$$

$$p_2 = p_3$$

$$p_2^2 = p_1 p_4 = \frac{p_1^2 p_4}{p_1}$$

$$p_2 = p_1 \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$$

$$\sqrt{\frac{p_4}{p_1}} = x$$

$$p_2 = p_1 x \quad (6)$$

x – степень сжатия в каждой ступени компрессора

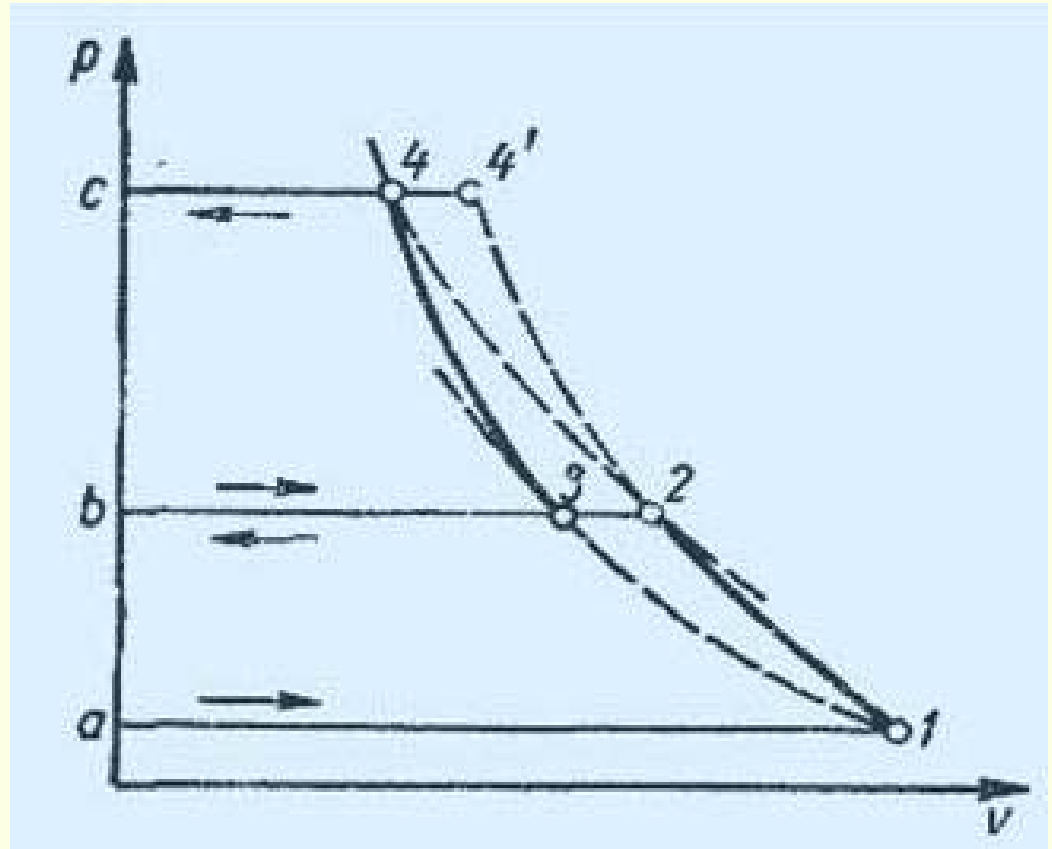


Рис. 7. Рабочий цикл идеального двухступенчатого поршневого компрессора

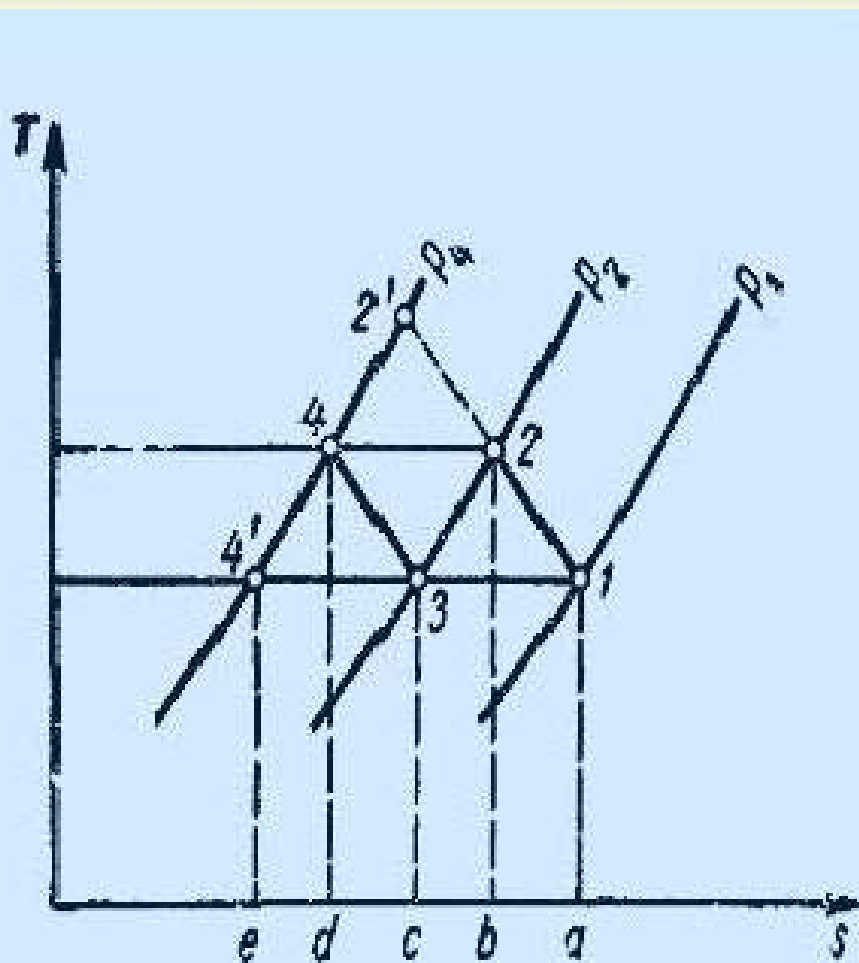


Рис. 8. Изображение рабочего процесса двухступенчатого компрессора в координатах sT

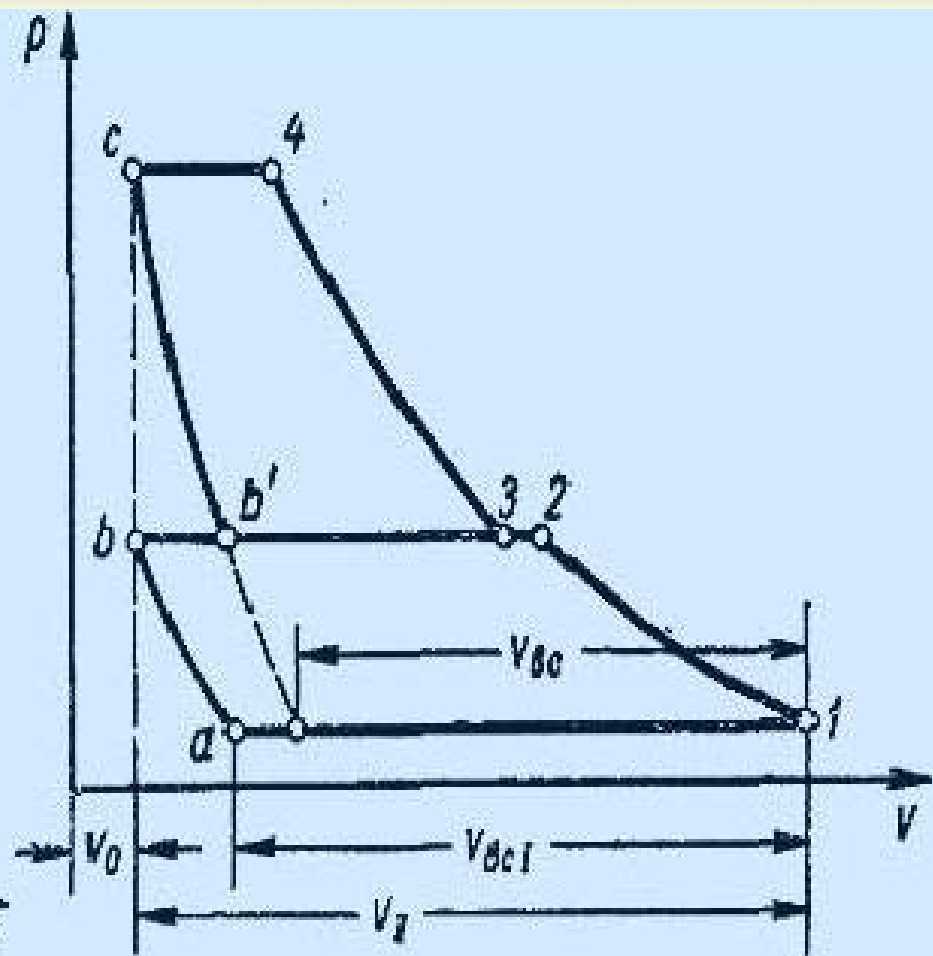


Рис. 9. Рабочий цикл идеального двухступенчатого поршневого компрессора с учетом «мертвого» пространства

Объёмные коэффициенты ступеней сжатия этого компрессора

$$\varphi_I = \frac{V_{всI}}{V_I}$$

$$\varphi_{II} = \frac{V_{всII}}{V_{II}}$$

$$x = \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$$

$$\varphi = \frac{V_{вс}}{V_I}$$

Решающими соображениями в пользу двухступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением следует признать увеличение объёмного коэффициента и снижение максимальной температуры сжимаемого газа.

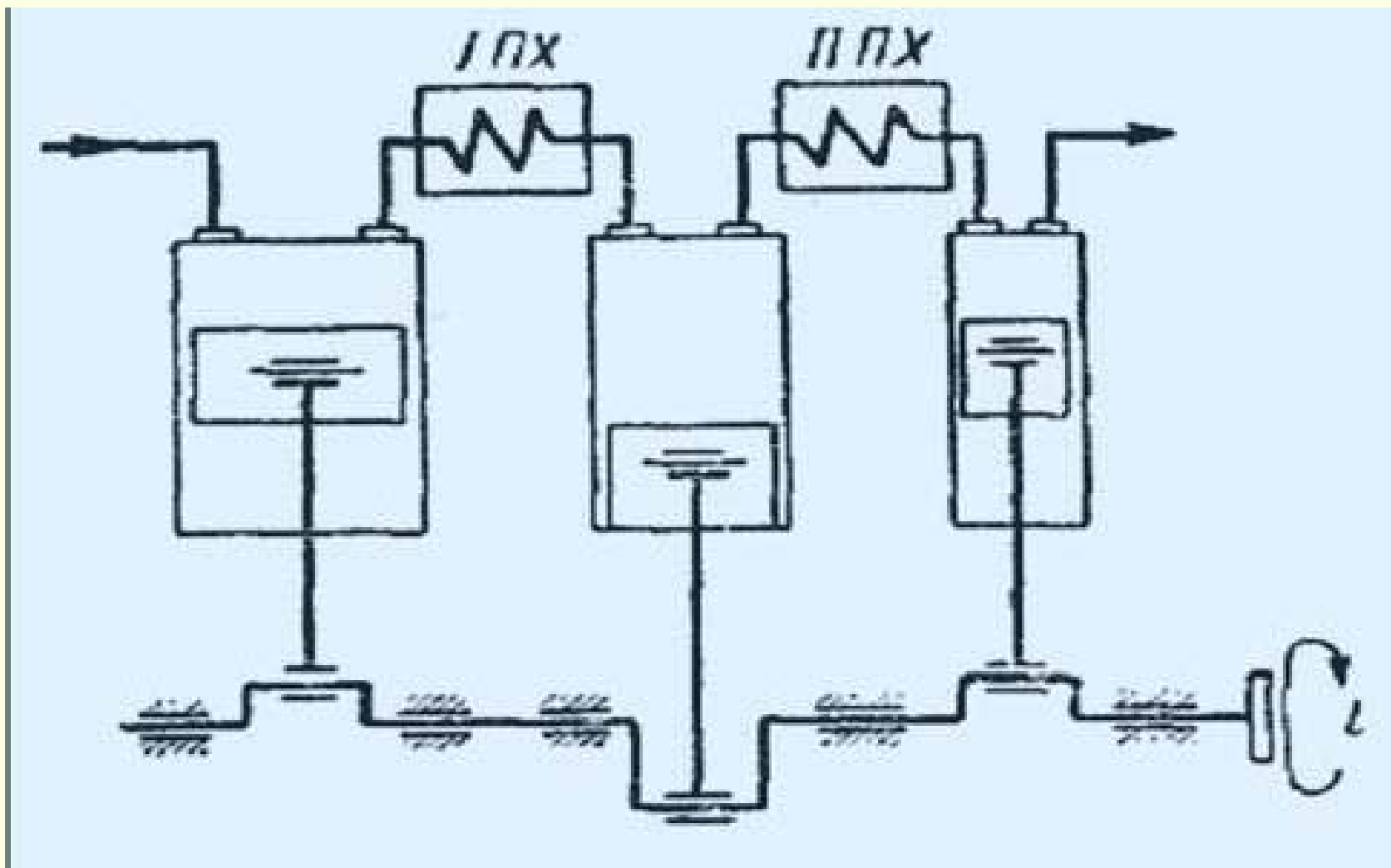


Рис. 10. Схема устройства трехступенчатого поршневого компрессора.

I ПХ – промежуточный холодильник

II ПХ – промежуточный холодильник

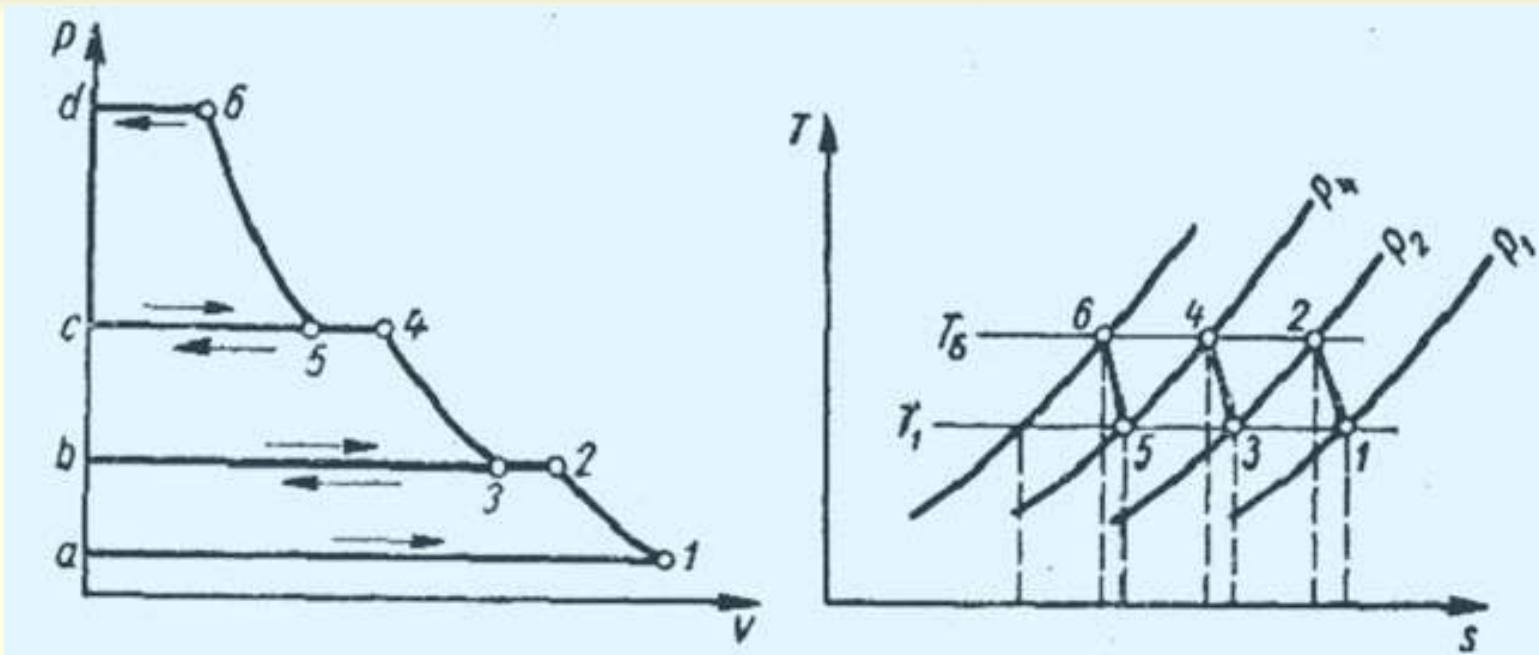
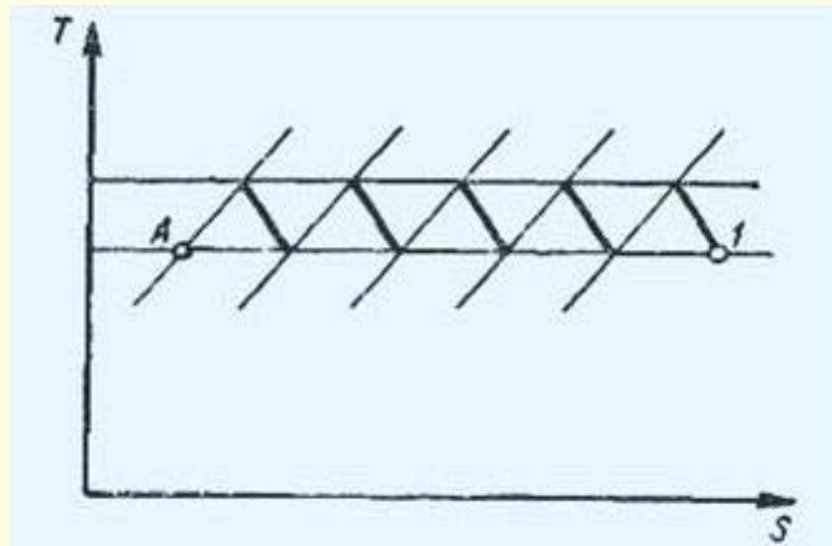


Рис. 11. Рабочий цикл трехступенчатого поршневого компрессора в координатах vp и sT

Рис. 12. Рабочий процесс многоступенчатого компрессора с промежуточным охлаждением (сжатие в таком компрессоре в значительной мере приближается к изотермическому)



Экономичность поршневого компрессора

Экономичность компрессора определяется сравнением работы, действительно затрачиваемой на сжатие и нагнетание в трубопроводе 1 кг газа, с работой, которая потребовалась бы на сжатие 1 кг газа в идеальном компрессоре. В качестве примера рассмотрим методы определения экономичности одноступенчатого компрессора.

$$l_i = \frac{L_i}{m}$$

где L_i — полная работа за рабочий цикл в Дж.

В идеальном одноступенчатом компрессоре потребляемая работа l_0 (в Дж/кг) выражается площадью a_{12b} (см. рис. 2).

$$\frac{l_i}{l_0} = \eta \quad (7)$$

называется к. п. д. компрессора и, являясь основным показателем экономичности, характеризует степень совершенства компрессора.

Если затрачиваемую работу определять с учетом потерь на трение в звеньях кривошипно-шатунного механизма, то вычисляемые *к. п. д.* называют **эффективными**. Эти *к. п. д.* также могут быть **адиабатные** и **изотермические**.

Турбокомпрессоры

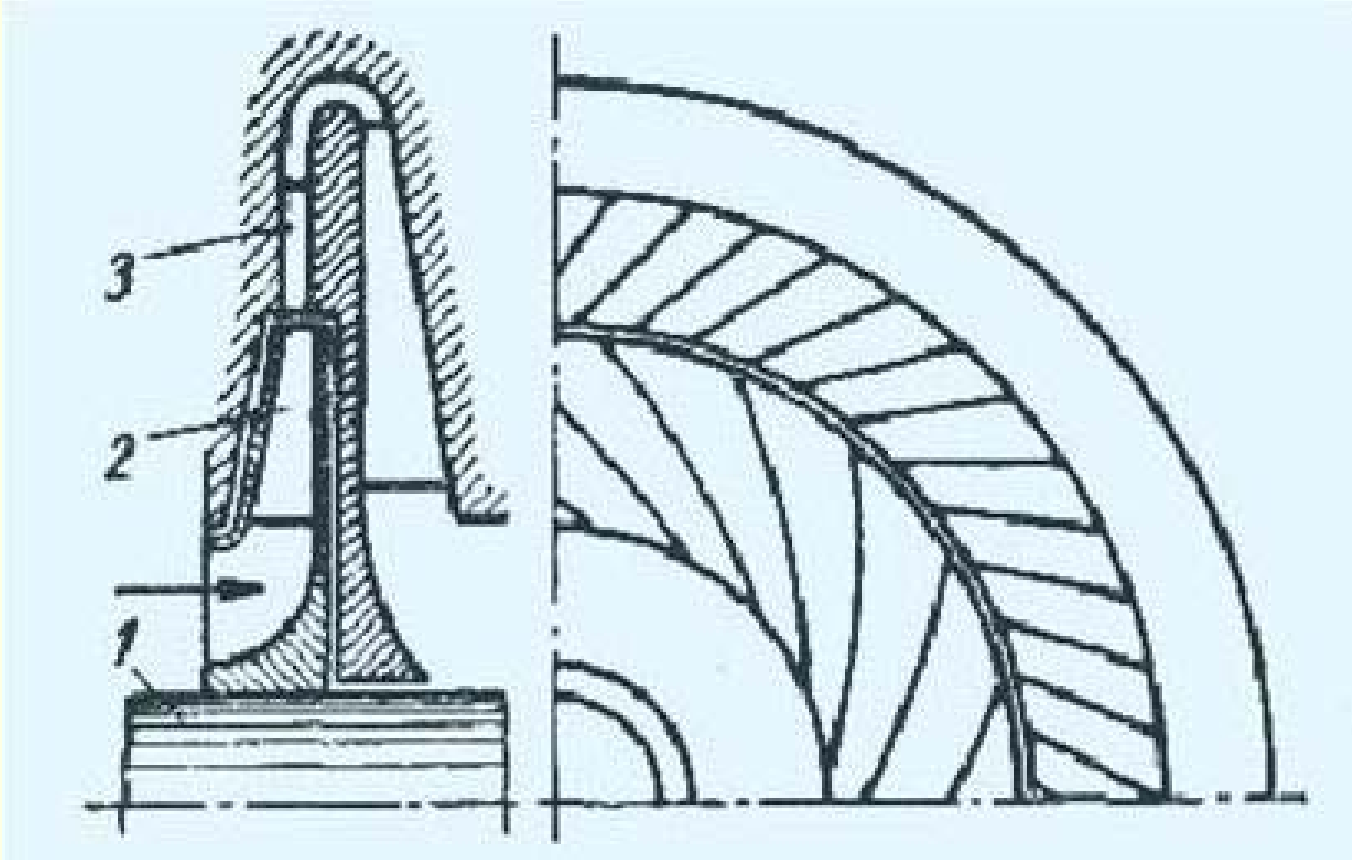


Рис. 13. Схема турбокомпрессора

1 – вал

2 – лопатки

3 – диффузор

Процесс сжатия газа в турбокомпрессоре в идеальном случае можно считать **адиабатным**.

$$l = h_2' - h_1 \quad (8)$$

Экономичность турбокомпрессора оценивается его адиабатным к. п. д.:

$$\eta = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1} \quad (9)$$

Для идеального газа $h = c_p T$
и тогда

$$\begin{aligned} \eta_{ад} &= \frac{(T_2 - T_1)c_p}{(T_2' - T_1)c_p} = \\ &= \frac{T_2 - T}{T_2' - T} = \frac{t_2 - t_1}{t_2' - t_1} \quad (10) \end{aligned}$$

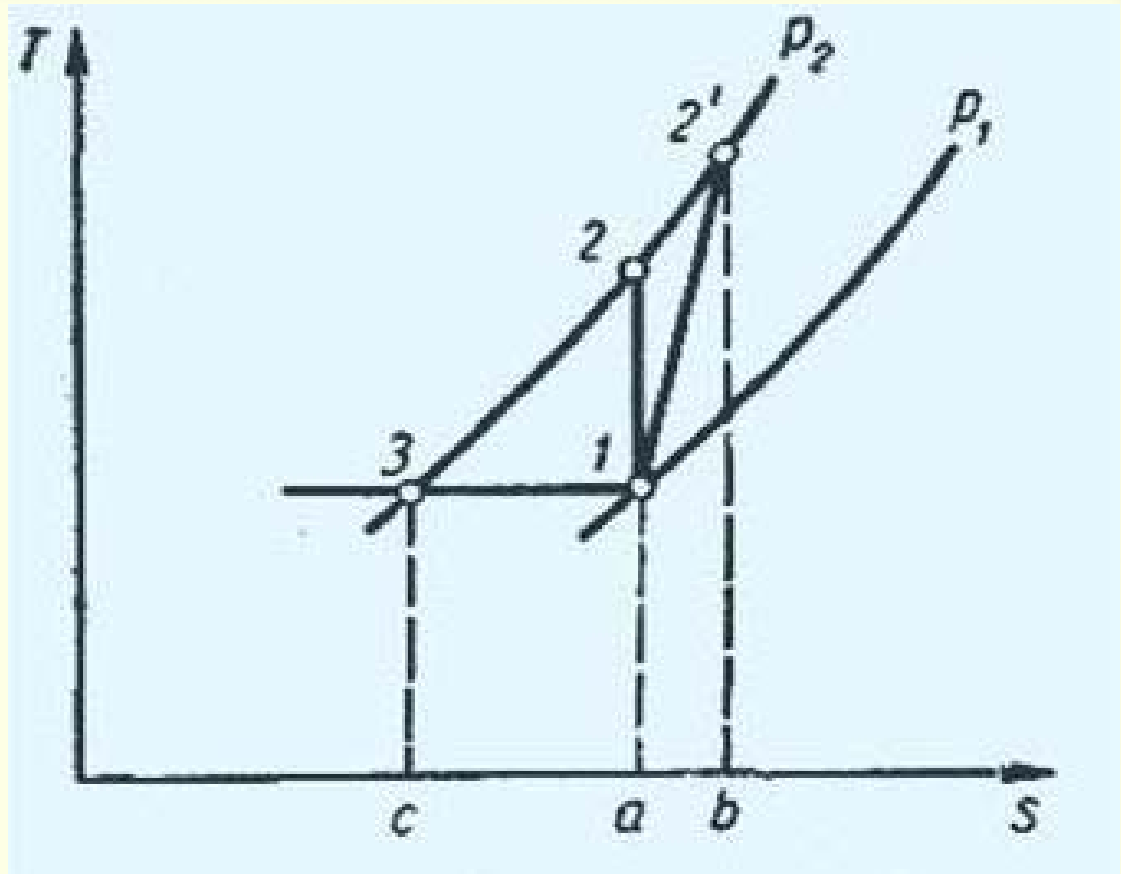


Рис. 14. Изображение рабочего цикла процесса турбокомпрессора в координатах sT

Этим к.п.д. учитывает только так называемые внутренние потери, поэтому он и называется **внутренним относительным**. Если же учесть потери на трение в движущихся частях, т. е. затрачиваемую работу определять на валу компрессора, то следует ввести понятие **эффективного** к.п.д. турбокомпрессора.

Контрольные вопросы

- Назначение компрессоров и схема их классификации
- Схема устройства поршневого одноступенчатого компрессора
- Идеальный одноступенчатый поршневой компрессор
- Особенности работы реального одноступенчатого компрессора
- Двухступенчатый идеальный поршневой компрессор
- Экономичность поршневого компрессора
- Турбокомпрессоры