

ТЕМА № 5
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В
КОМПРЕССОРАХ

Вопрос 1. Назначение и классификация компрессоров

Компрессор (от лат. compressio — сжатие) — машина для сжатия газов и их перемещения.

Классификация компрессоров по конструкции

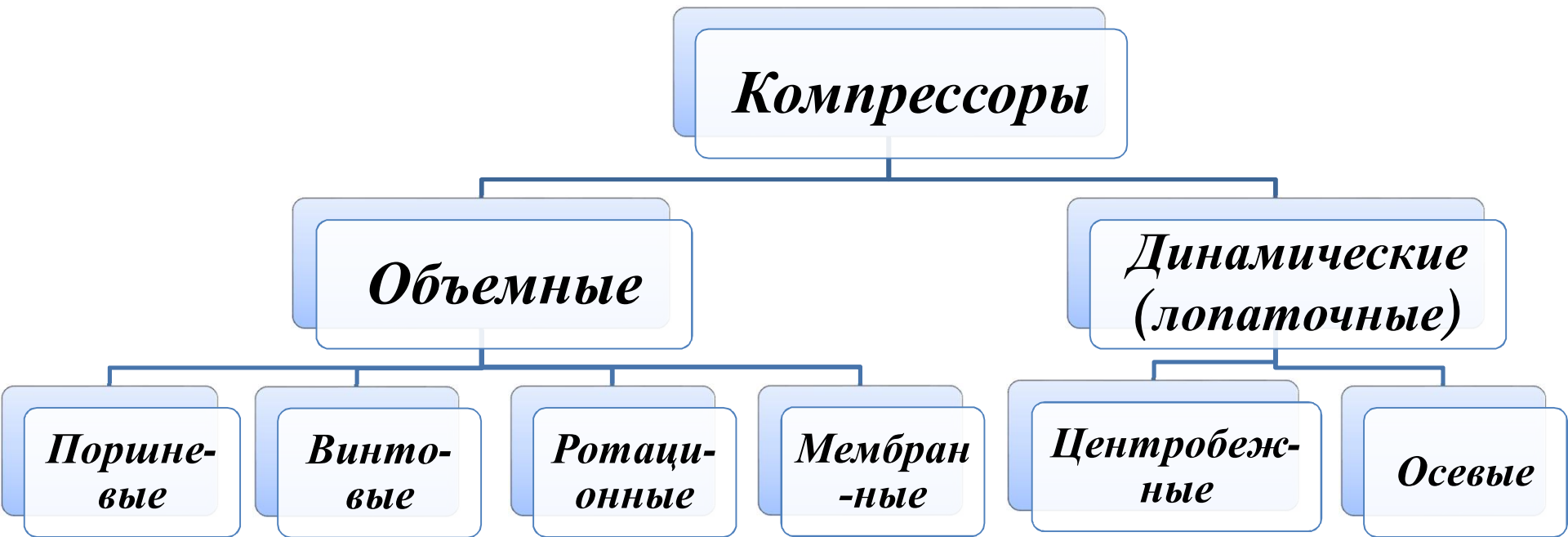
Компрессоры

```
graph TD; A[Компрессоры] --> B[Объемные]; A --> C[Динамические (лопаточные)];
```

Объемные

*Динамические
(лопаточные)*

Классификация компрессоров по конструкции



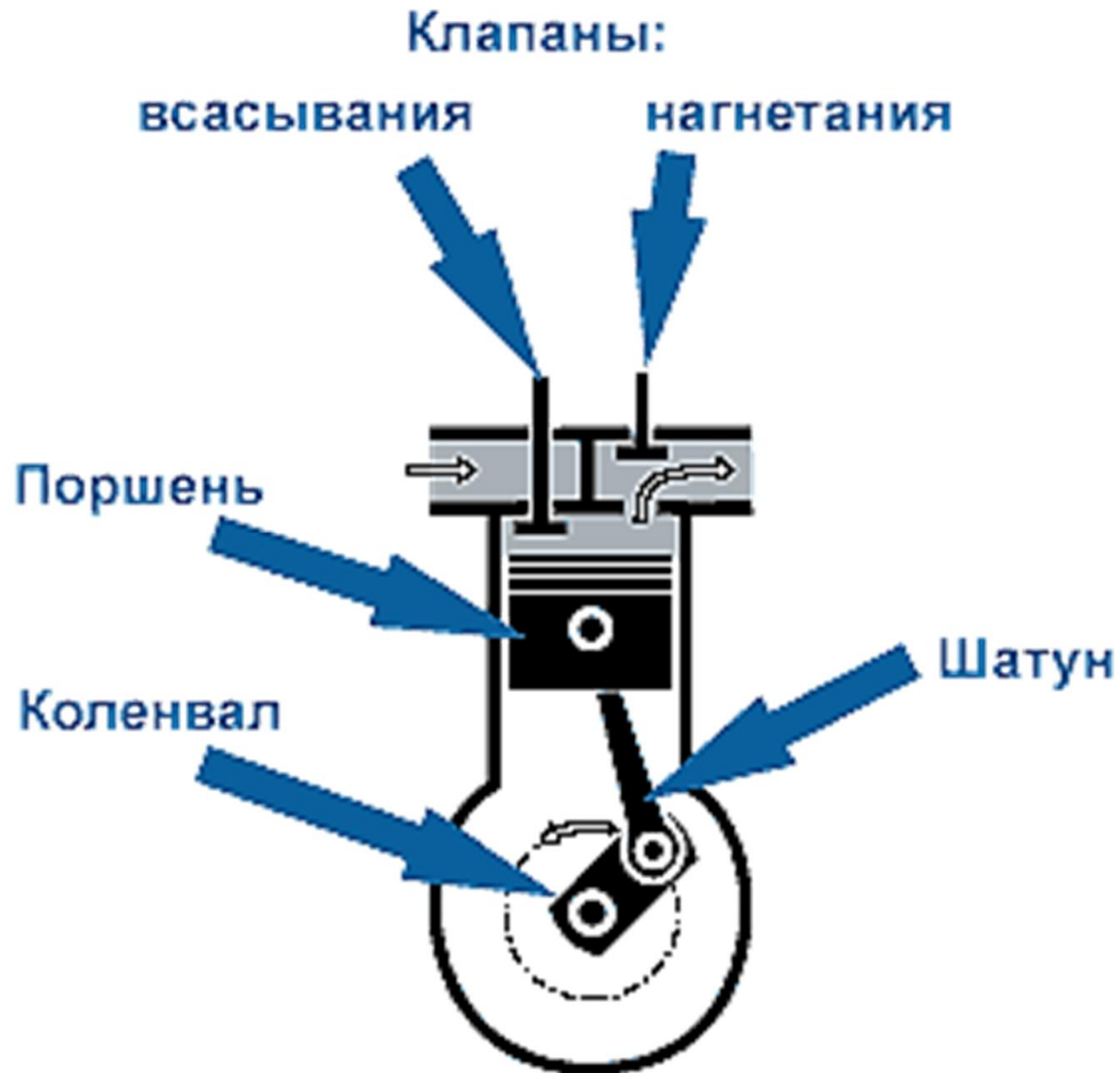
Объемный компрессор — это машина, в которой сжатие газа происходит в рабочих камерах, периодически изменяющих свой объём.

Динамический (лопаточный) компрессор — машина, в которой сжатие газа происходит в результате его взаимодействия с вращающимися лопатками.

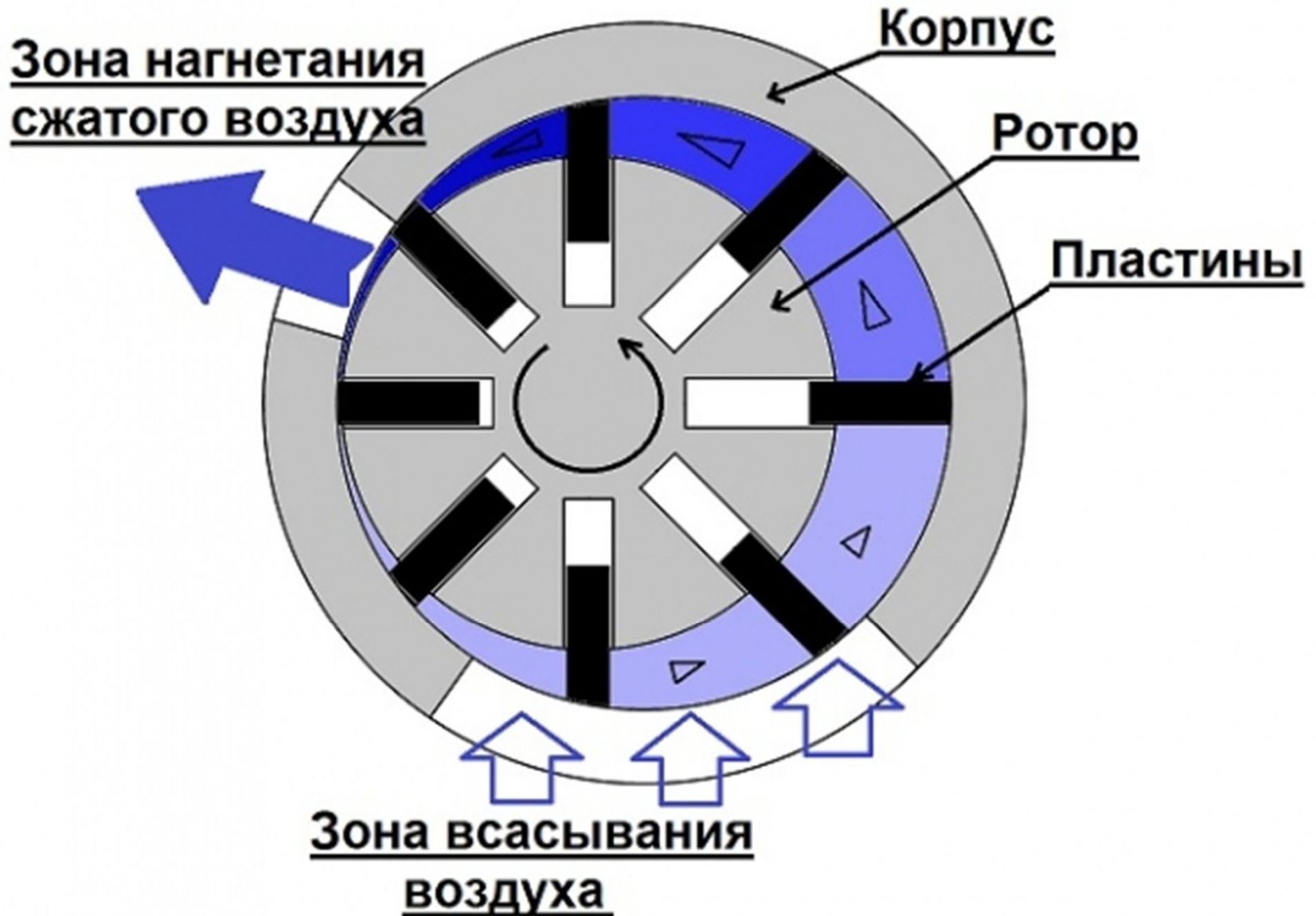
Классификация компрессоров по конечному давлению



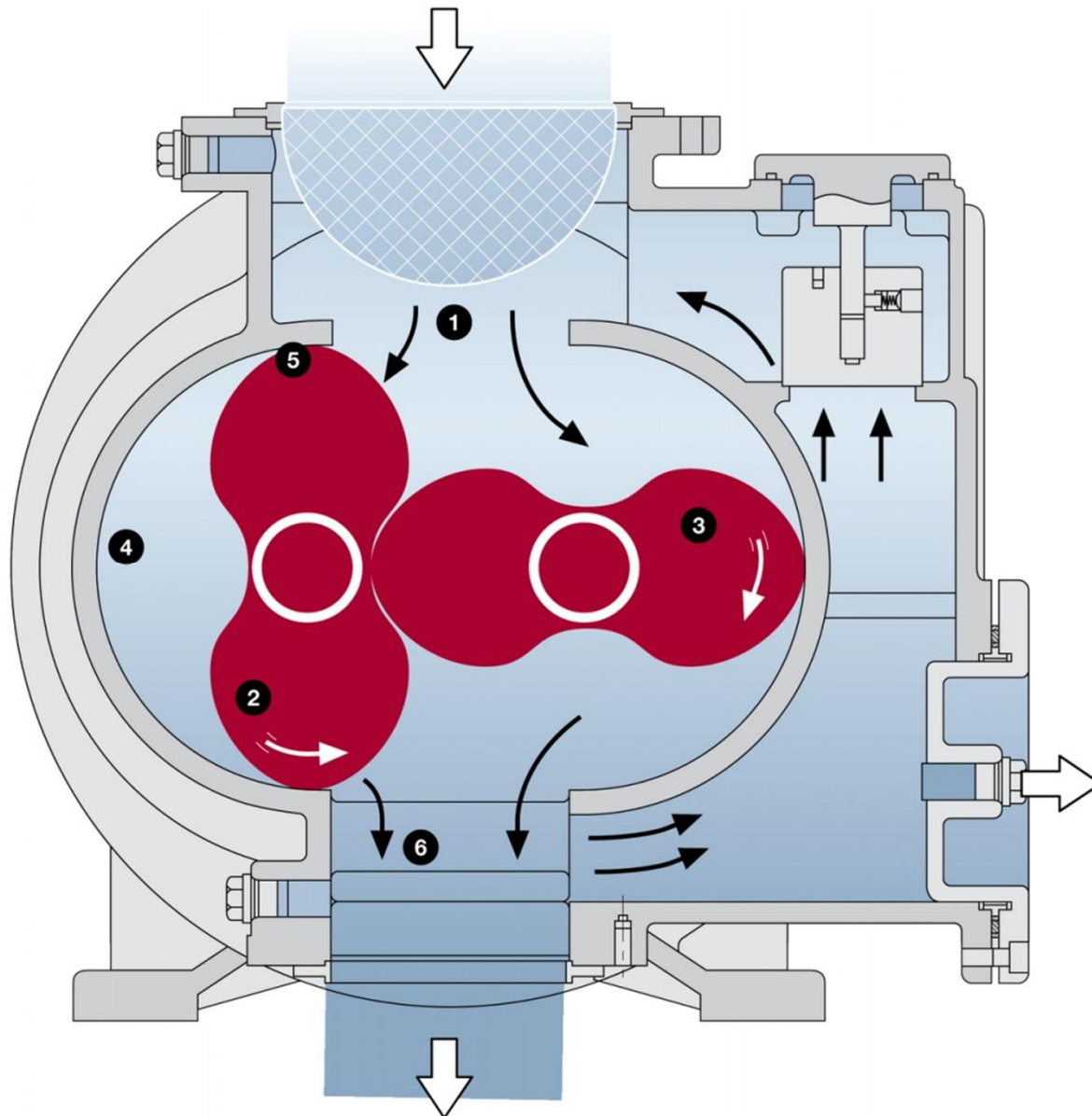
Поршневой компрессор



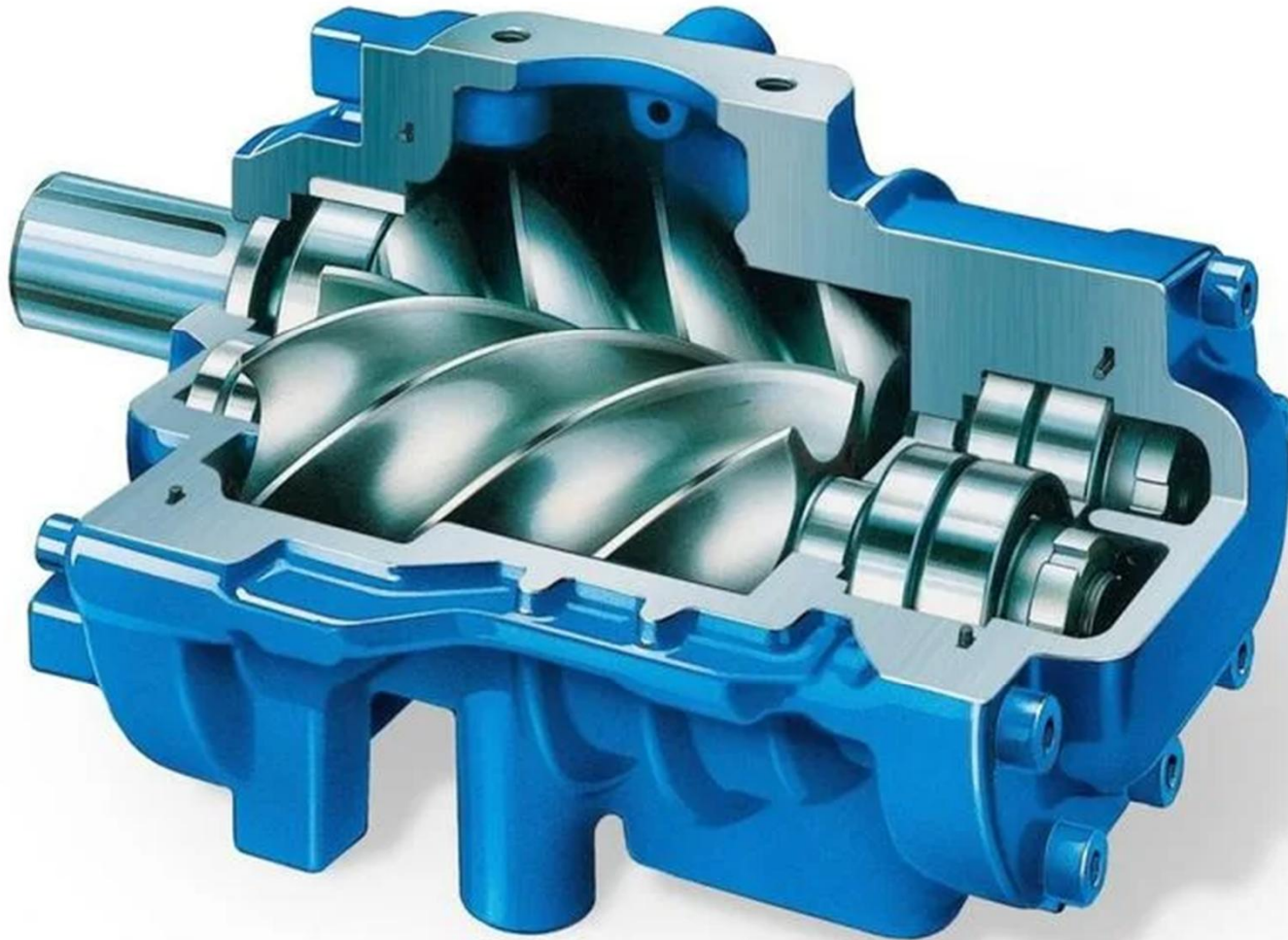
Роторно-лопастной компрессор



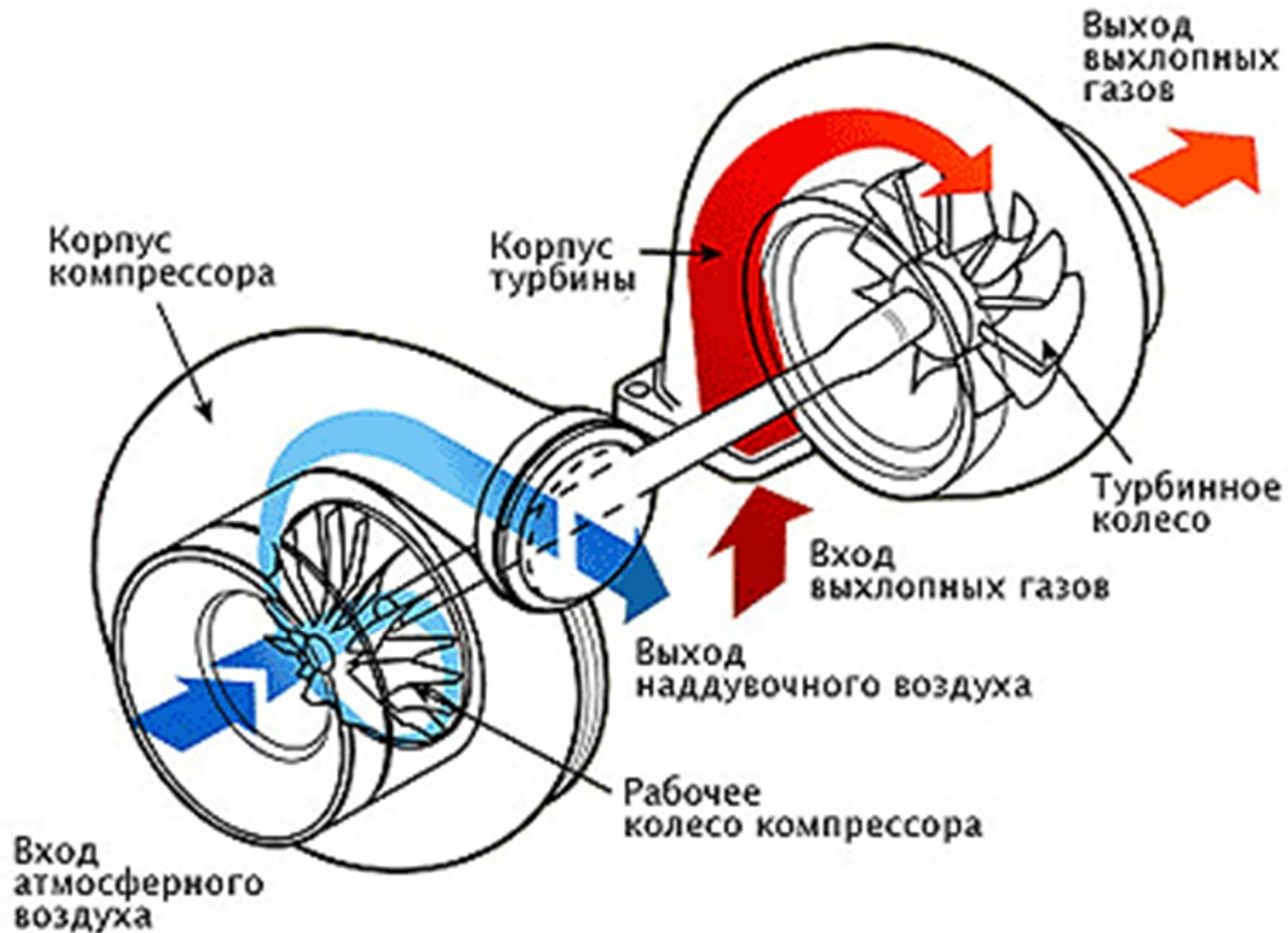
Двухроторный компрессор



Винтовой компрессор



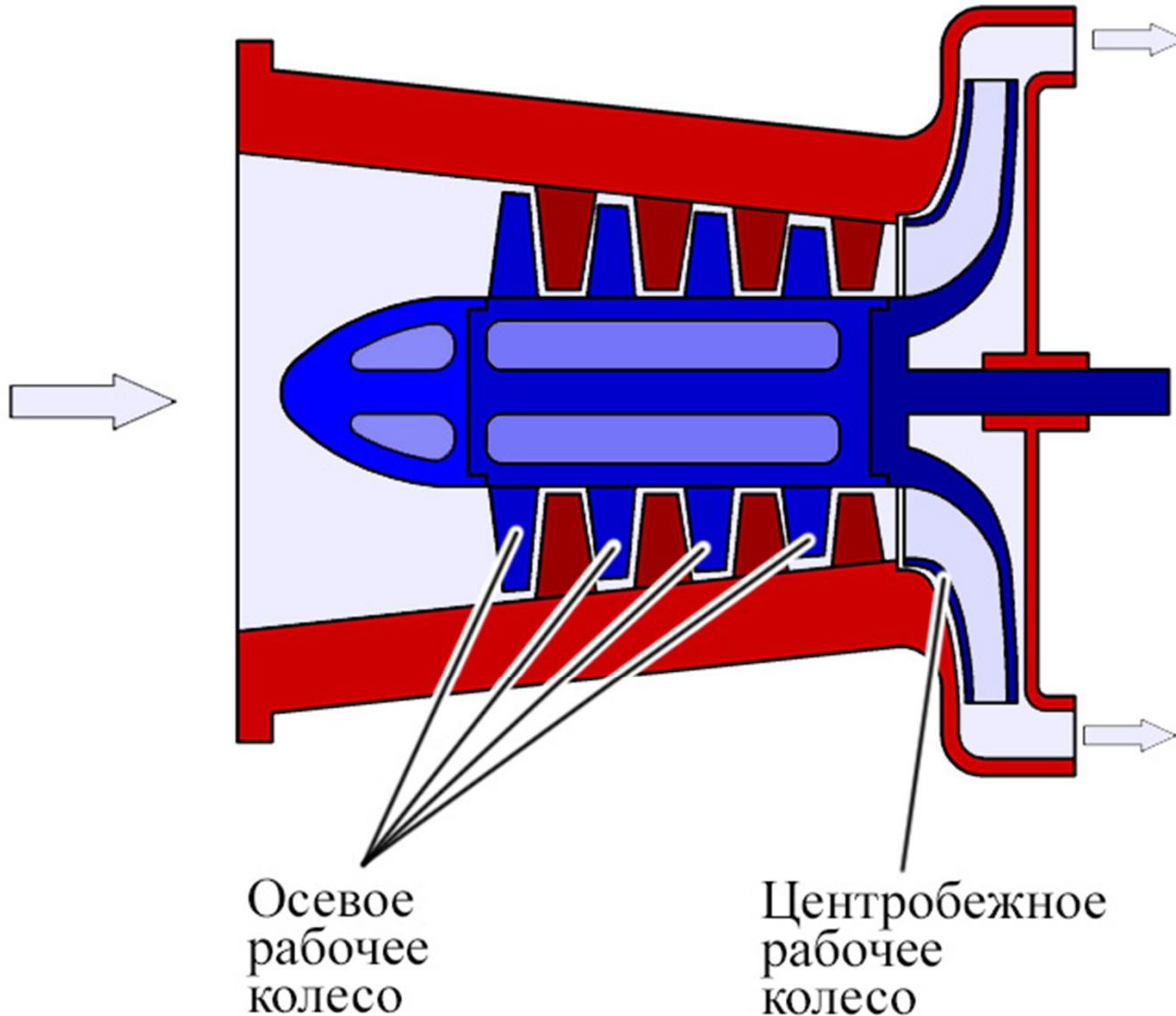
Центробежные компрессоры



Осевые одноступенчатые компрессоры



Осевые многоступенчатые компрессоры



Вопрос 2. Работа (идеального) и параметры реального поршневого компрессора

Идеальным называется компрессор, в котором:

- 1) отсутствует вредный объем;*
- 2) отсутствуют потери на трение;*
- 3) процессы всасывания и нагнетания происходят при постоянном давлении.*

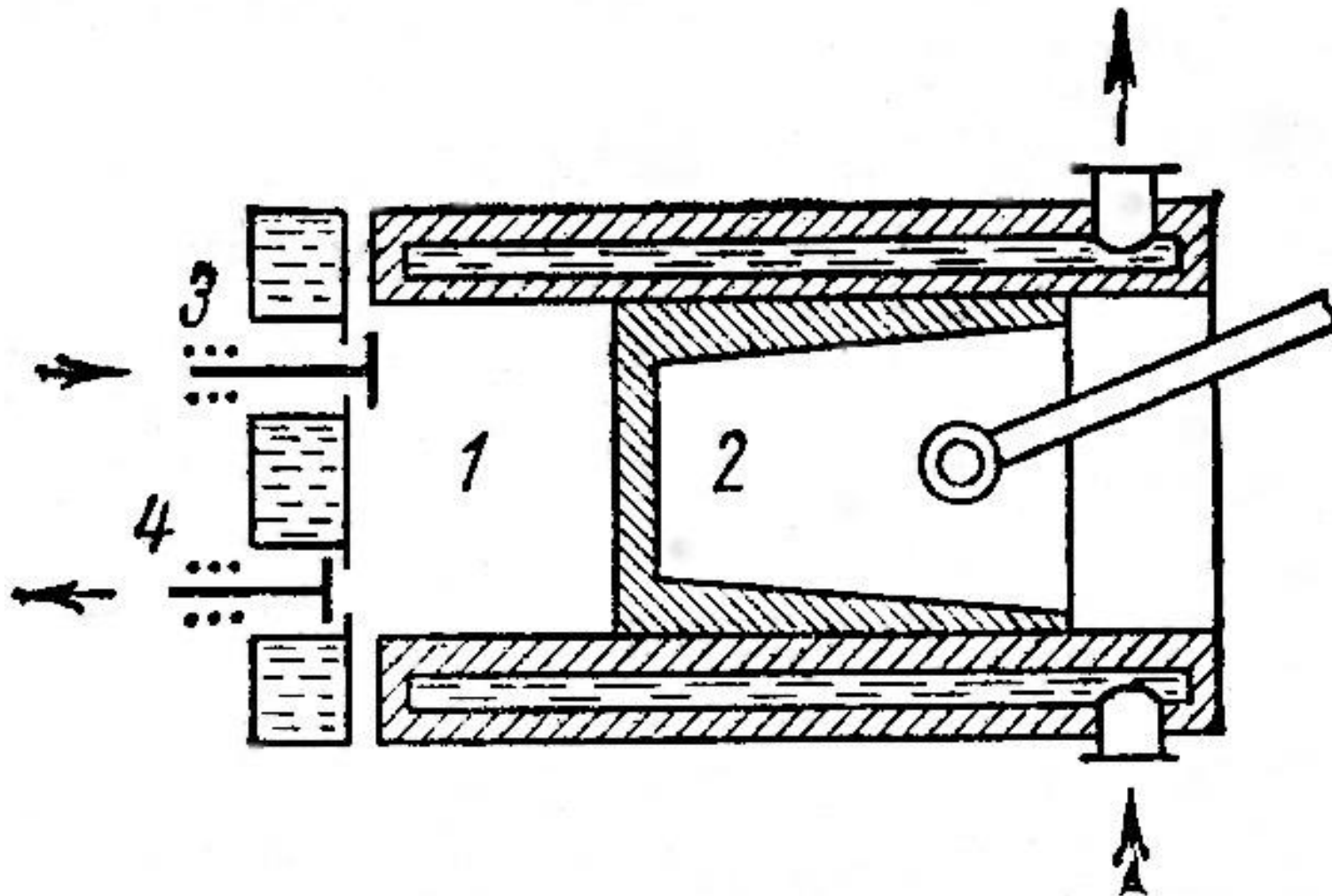
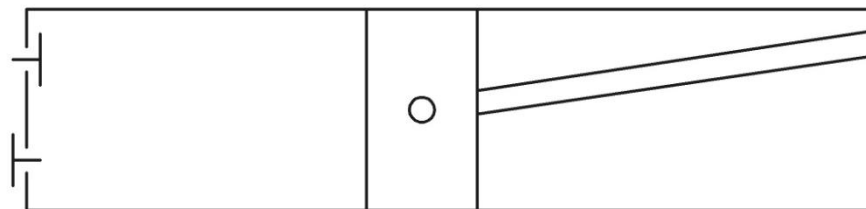
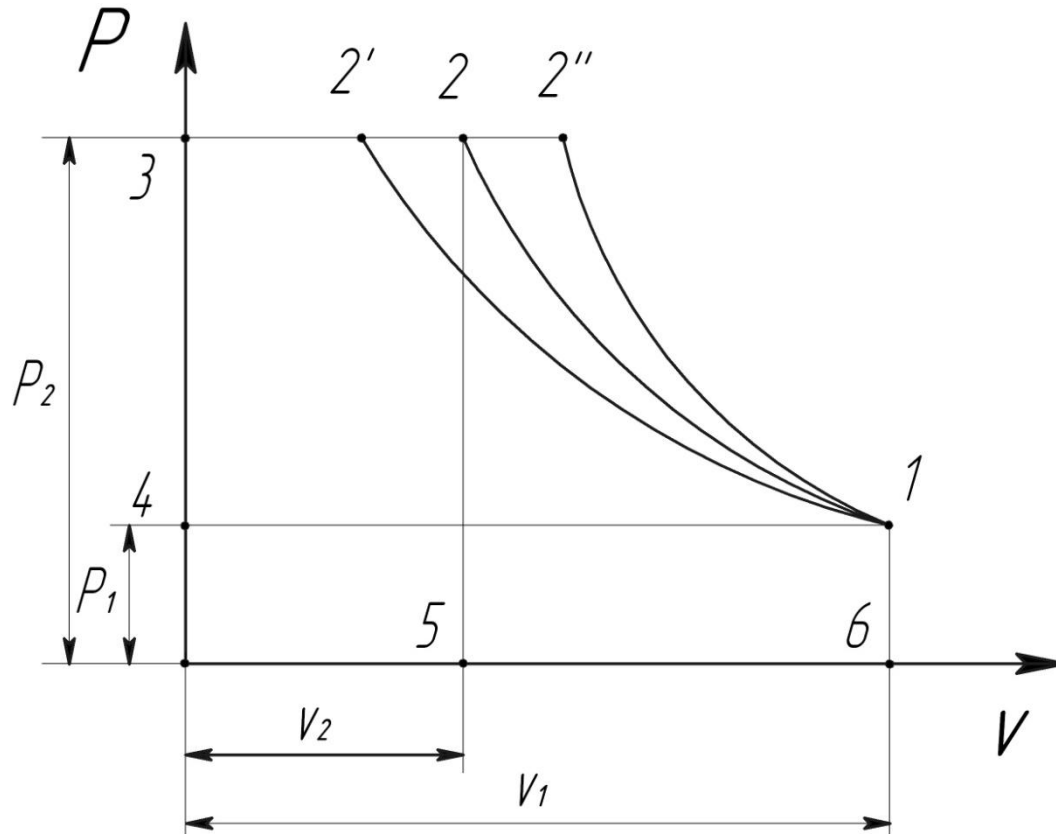
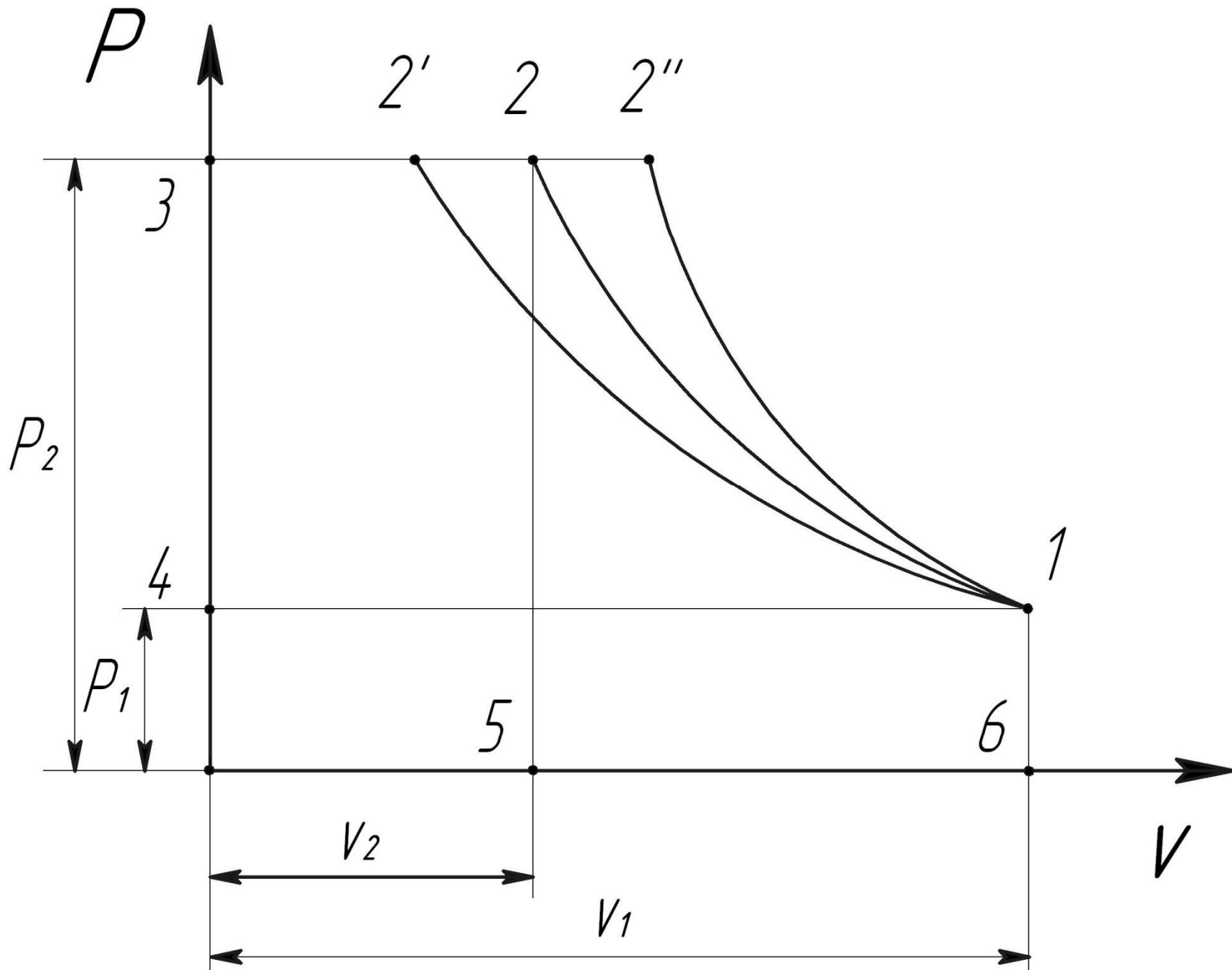


Схема одноступенчатого поршневого компрессора:

*1 — цилиндр; 2 — поршень;
3 — впускной клапан; 4 — нагнетательный клапан.*

Индикаторная диаграмма идеального одноступенчатого поршневого компрессора





Процесс 4-1 – всасывание воздуха в цилиндр компрессора при $P_1 = \text{const}$.

Процесс 1-2 – сжатие воздуха в цилиндре компрессора до давления P_2 .

Процесс 2-3 – нагнетание воздуха в резервуар при $P_2 = \text{const}$.

Процесс 3-4 – мгновенное снижение давления от P_2 до P_1 , возможное только в идеальном компрессоре.

При одном и том же давлении P_2 объём нагнетаемого воздуха может быть различным в зависимости от процесса сжатия.

Он может протекать по линии 1-2' – изотерме (идеальное охлаждение компрессора), $n = 1$.

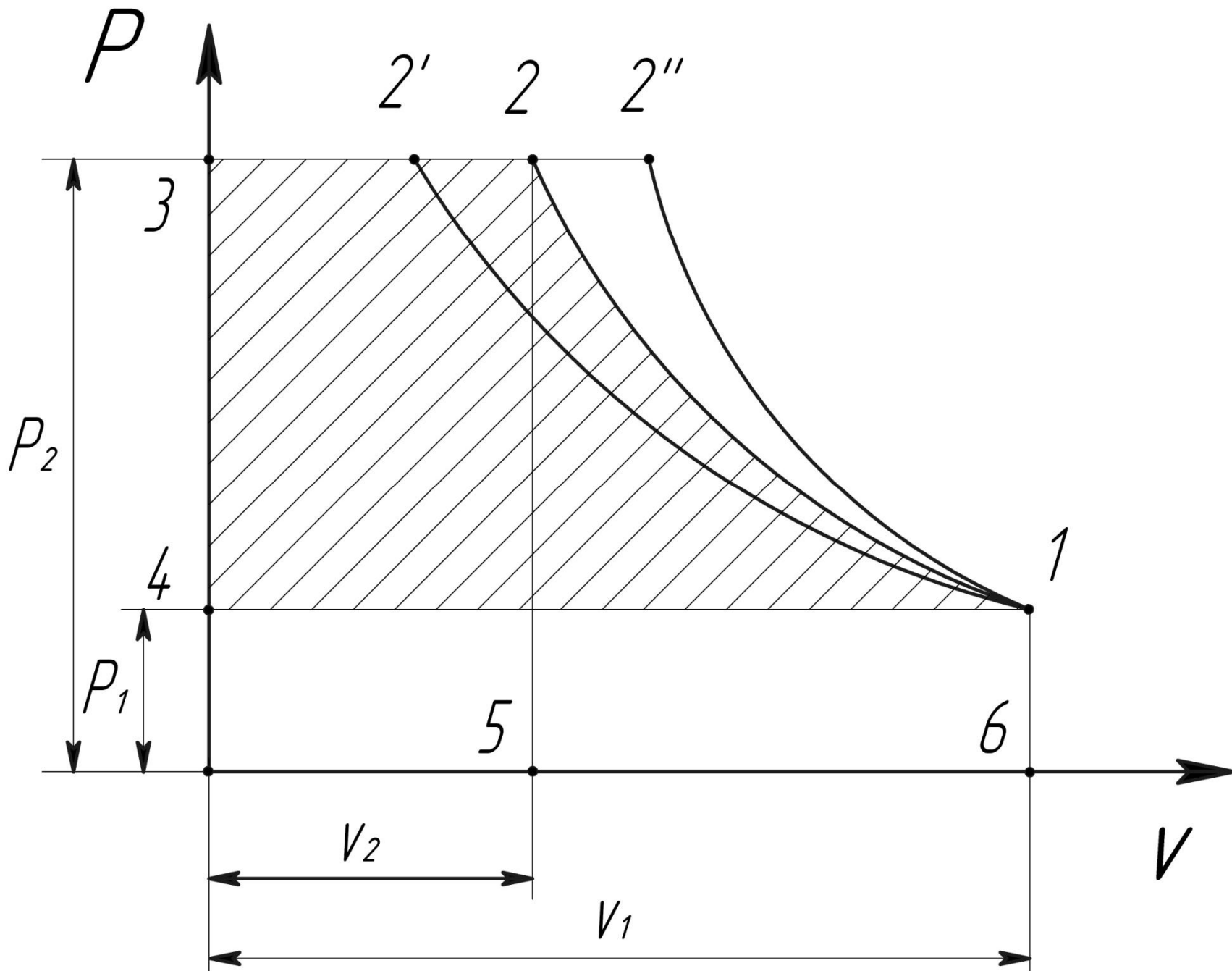
Может протекать по линии 1-2'' – адиабате (сжатие без теплообмена с окружающей средой), $n = 1,41$.

Процесс сжатия в реальном компрессоре протекает по политропе 1-2 с $n = 1,2 \dots 1,25$.

Максимальное давление сжатия P_2 в реальном компрессоре определяется из отношения

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

где температура газа в конце сжатия T_2 ограничивается температурой вспышки масла, применяемого для смазки компрессора, которая находится в пределах $200...250^\circ \text{C}$.



Работа, затрачиваемая на привод компрессора при сжатии 1 кг газа, графически изображается площадью 12341.

Площадь 12341 может быть определена из выражения

$$l = \text{пл. } 12341 = \text{пл. } 1256 + \text{пл. } 2305 - \text{пл. } 1406,$$

где пл. 1256 графически изображает работу сжатия, пл. 2305 – работу нагнетания, а пл. 1406 – работу всасывания.

Тогда работа, затрачиваемая на привод компрессора

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv + p_2 v_2 - p_1 v_1$$

Работа, затрачиваемая на привод компрессора при изотермическом сжатии, с учетом того, что в изотермическом процессе $p_1 v_1 = p_2 v_2$, будет равна

$$l_T = \int_{v_1}^{v_2} p dv = RT \ln \frac{p_2}{p_1}.$$

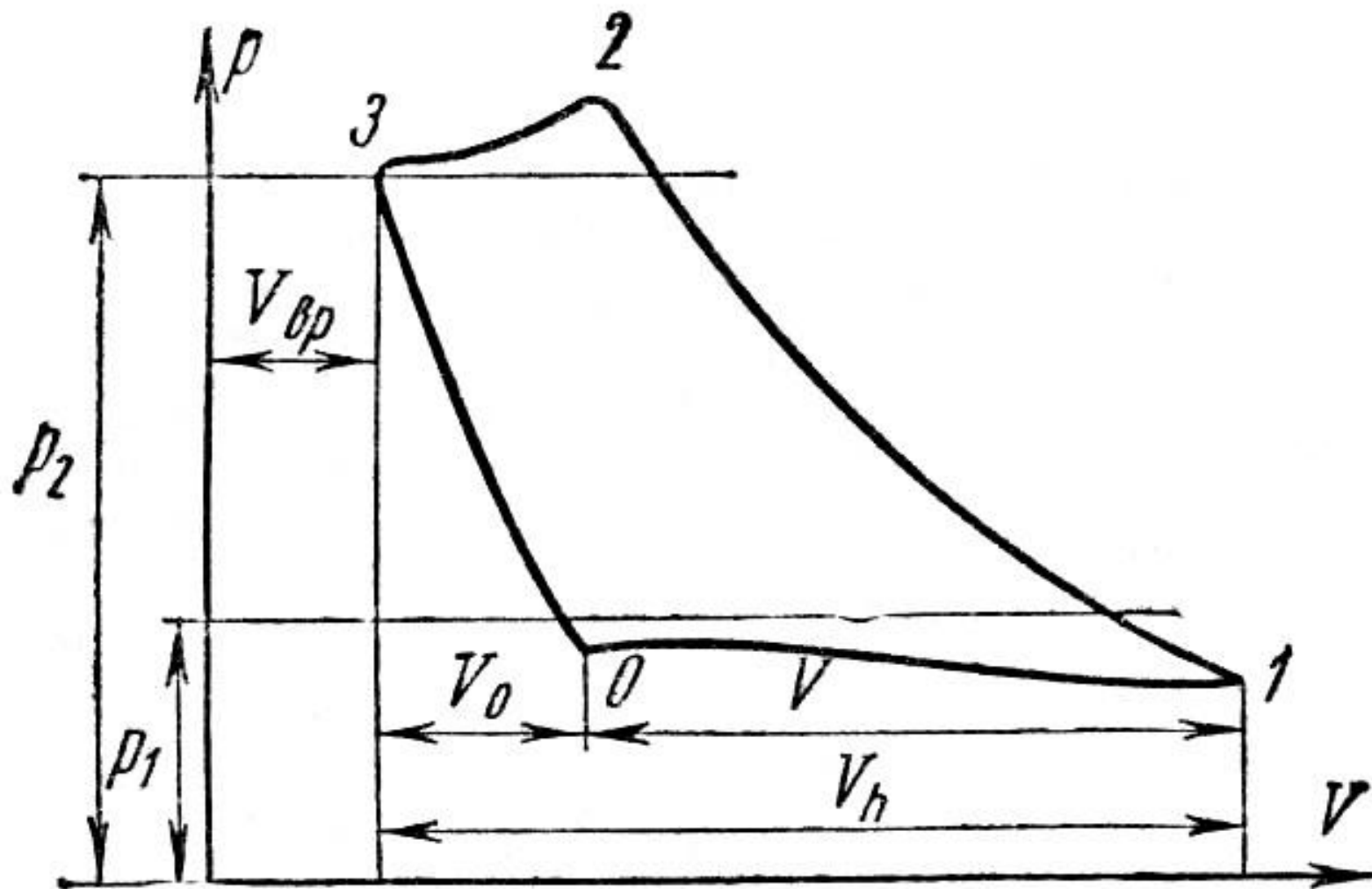
Работа, затрачиваемая на привод компрессора при адиабатном сжатии

$$l_s = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \frac{1}{k-1} p_1 v_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

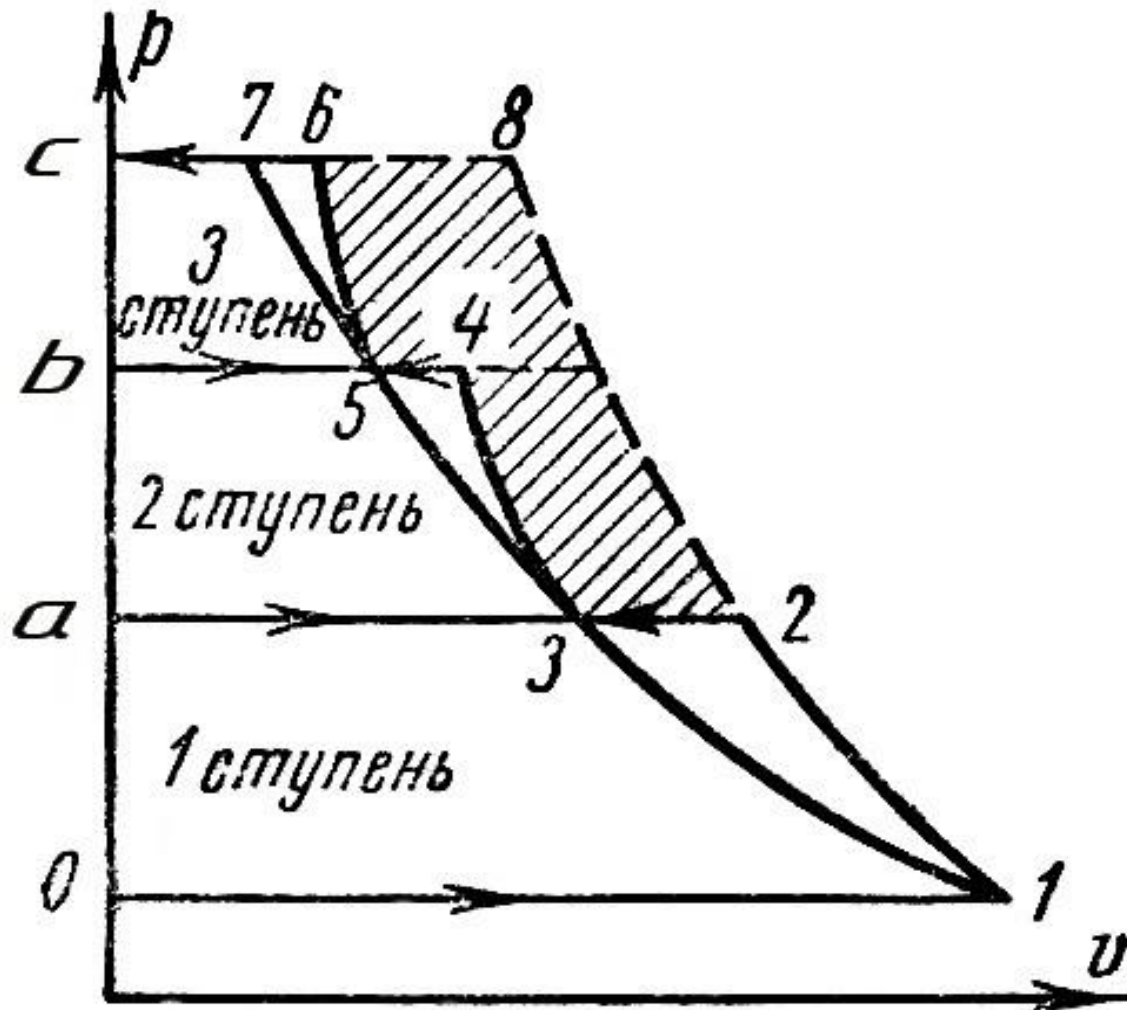
Работа, затрачиваемая на привод компрессора при политропном сжатии

$$l_n = \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

Индикаторная диаграмма реального одноступенчатого поршневого компрессора



Многоступенчатое сжатие



Индикаторная диаграмма идеального трехступенчатого поршневого компрессора

В рабочей полости цилиндра в конце нагнетания всегда остается газ объемом V_M , который называется *мертвым объемом* и зависит от величины промежутка между поршнем в крайнем положении и крышкой цилиндра. Отношение объема V_M к рабочему объему V_h , описываемому поршнем, называют *относительным объемом мертвого пространства*

$$\alpha_M = V_M/V_h. \quad (20.1)$$

Обычно $\alpha_M = 0,03-0,08$.

Объем газа, который поступил в цилиндр ($V_{вс}$), меньше, чем рабочий объем V_h .
Отношение

$$\lambda_V = V_{вс}/V_h$$

Для компрессоров, выпускаемых в настоящее время, $\lambda_V = 0,7-0,9$. Объемным коэффициентом характеризуется степень использования рабочего объема цилиндра без учета возможных потерь через клапаны, сальники, на подогрев газа при впуске и т.д. Все названные потери учитывает *коэффициент подачи* λ , равный отношению действительной подачи компрессора V_d к теоретической V_T :

$$\lambda = V_d/V_T. \quad (20.3)$$

Подачей компрессора принято называть объем газа, нагнетаемого им в единицу времени (например, в секунду), измеренный на выходе из компрессора, но пересчитанный на условия всасывания.

Теоретическая подача компрессора простого действия

$$V_{\text{т}} = V_h n = 0,785 D^2 S n, \quad (20.4)$$

Действительный объем всасывания

$$V_{\text{д}} = \lambda_V \lambda_{\text{т}} \lambda_{\text{г}} V_h = \lambda V_h, \quad (20.5)$$

где $\lambda_{\text{т}}$ — коэффициент, который учитывает расширение газа при нагревании; $\lambda_{\text{г}}$ — коэффициент, учитывающий утечку газа сквозь щели из-за нарушения герметичности вследствие износа деталей компрессора; λ — коэффициент подачи, определяемый испытаниями компрессора. Обычно $\lambda = 0,6-0,85$ или $\lambda = (0,90-0,98)\lambda_V$.

Мощность, подведенная к валу компрессора, т. е. эффективная мощность $N_{\text{эф}}$, больше индикаторной N_i , поскольку она включает расходы энергии на механическое трение (поршень — цилиндр, крейцкопф, уплотнение, подшипники) и на привод вспомогательных механизмов. Эти расходы энергии оцениваются механическим КПД

$$\eta_{\text{м}} = N_i / N_{\text{эф}}; \quad (20.9)$$

обычно для поршневых компрессоров $\eta_{\text{м}} = 0,82-0,95$.