

Общая характеристика методов получения вакуума

Вакуумный насос – устройство, предназначенное для создания, повышения и (или) поддержания вакуума.

Во всех вакуумных насосах для откачки газа используют один из двух способов:

- перемещение газа за счет приложения к нему механических сил в некотором месте вакуумной системы, откуда газ выталкивается;
- связывание газа путем сорбции, химических реакций или конденсации обычно в замкнутой вакуумной системе.

Основные параметры насосов

Для характеристики вакуумных насосов обычно применяют четыре основных параметра:

- быстрота действия насоса S_H
- предельное давление насоса $P_{пр}$
- давление запуска вакуумного насоса P_3
- наибольшее выпускное давление $P_{вып}$

Предельное давление насоса $P_{пр}$ - это минимальное давление, которое может обеспечить насос, работая без откачиваемого объекта.

Давление запуска вакуумного насоса P_3 - это максимальное давление во входном сечении насоса, при котором он может начать работу.

Наибольшее выпускное давление $P_{вып}$ - максимальное давление в выходном сечении насоса, при котором он может осуществлять работу.

Характеристики насосов

Тип насоса	Быстрота откачки, л/с	Сверхвысокий вакуум					Высокий вакуум					Средний вакуум			Низкий вакуум		
		Давление, Па										1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
		10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹						
Форвакуумные насосы																	
Водокольцевой	20-1000																
Когтевой (кулачковый)	20-250																
Мембранный (диафрагменный)	0,3-5																
Поршневой	0,15-20																
Винтовой	20-500																
Золотниковый	20-600																
Спиральный	1,5-20																
Пластинчато-роторный	0,12-150																
Двухроторный (Рутса)	30-800																
Высоковакуумные насосы																	
Турбомолекулярный	40-6000																
Диффузионный	130-18000																
Криогенный	480-60000																
Ионно-сорбционный	1-1200																

Способы получения вакуума

Классификация способов:

- 1) Механические методы
- 2) Физико-химические методы

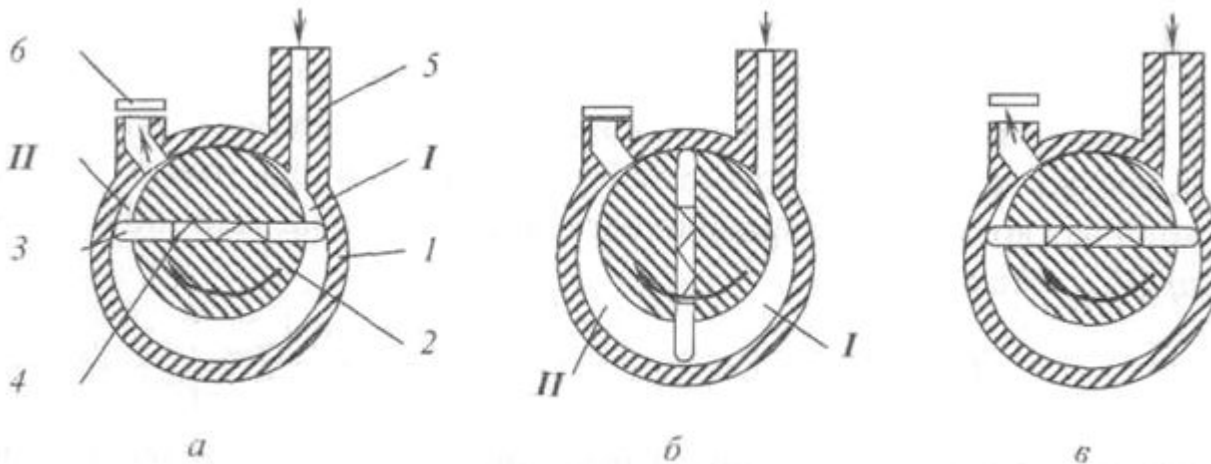


Механические вакуумные насосы

Принцип объемной откачки

В процессе *объемной откачки* выполняются следующие операции:

- 1) всасывание газа за счет расширения объема рабочей камеры насоса;
- 2) уменьшение объема рабочей камеры и сжатие находящегося в ней газа;
- 3) удаление сжатого газа из рабочей камеры в атмосферу.

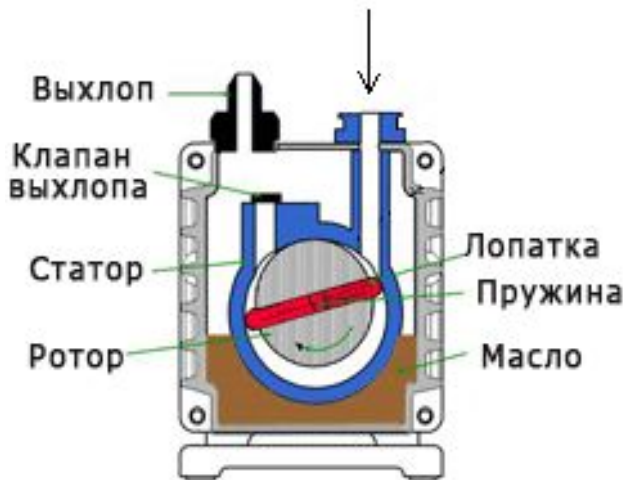


I-полость всасывания;

II-полость сжатия;

а-начало откачки; б-максимальный объем
камеры всасывания; в-окончание
цикла;

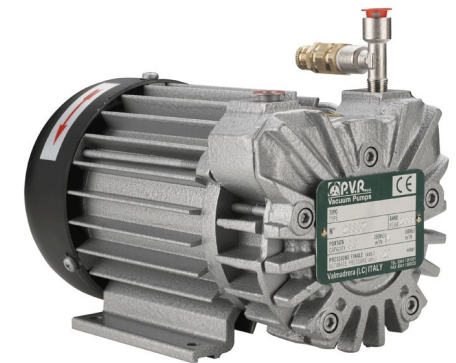
1-камера; 2-ротор; 3-пластины; 4-пружина;
5-впускной патрубок; 6-клапан.



Пластинчато-роторный насос

Скорость откачки 0,12-150 л/с
Предельное давление 10^{-1} Па

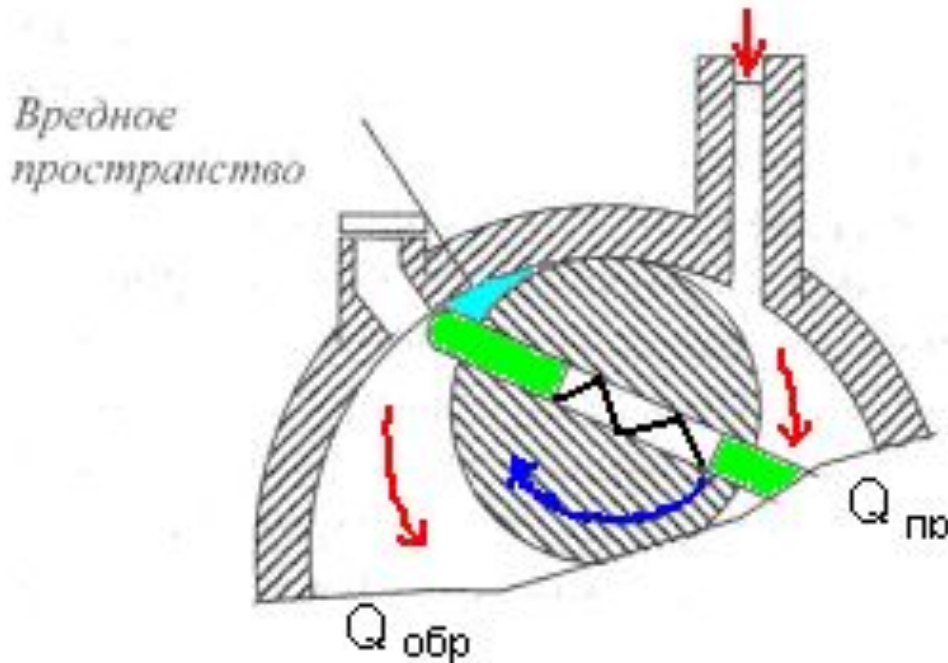
Могут быть масляные и
безмасляные.



Работа объемных вакуумных насосов может сопровождаться рядом нежелательных явлений:

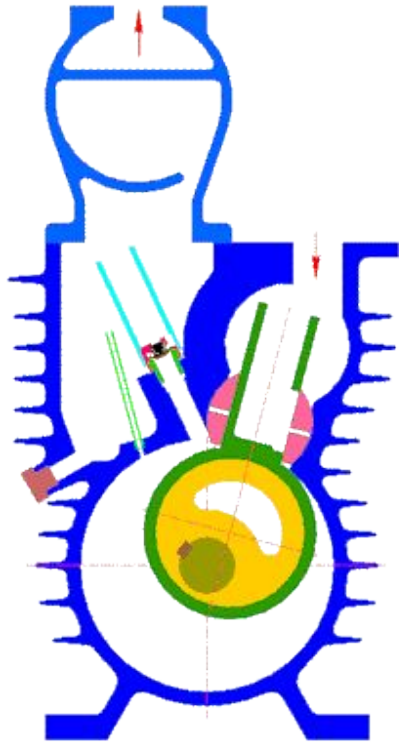
- проникновением паров масел из насоса в откачиваемый объем,
- потерей рабочей жидкости через выхлопной патрубок,
- утечкой откачиваемого газа и т.д.

Предельное давление объемных насосов определяется, кроме вышперечисленных причин, объемом вредного пространства и давлением газа в этом объеме



$$Q_{обр} = p_0 V_{BP}$$

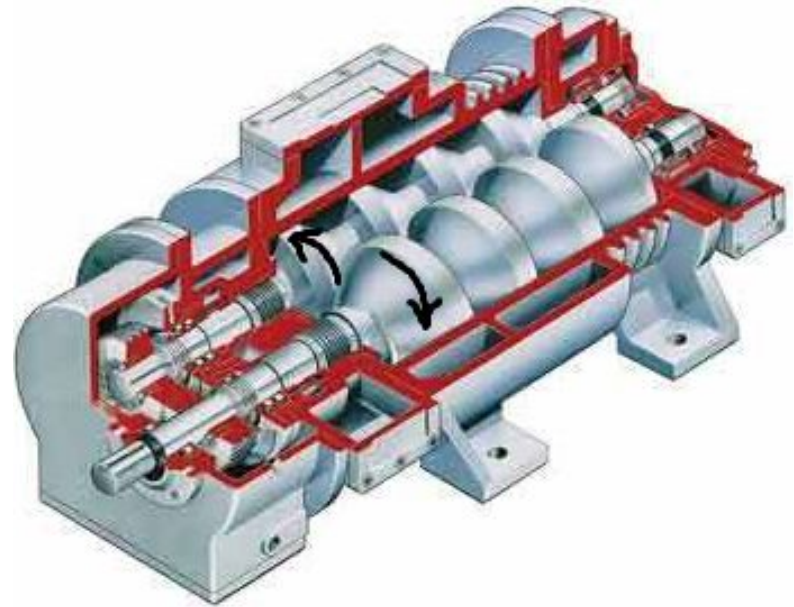
Некоторые схемы объемных насосов



Золотниковый насос

Скорость откачки 20-600 л/с
Предельное давление 10^{-1} Па

Масляный насос.

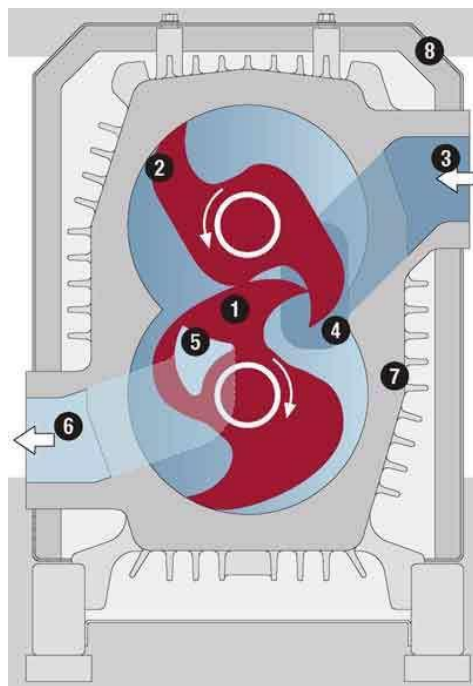


Винтовой насос

Скорость откачки 20-500 л/с
Предельное давление 10^{-1} Па

Могут быть масляные и
безмасляные.

Некоторые схемы объемных насосов



1,2 - когтевидные кулачки; 3,4 канал и зона всасывания; 5- выхлопное отверстие; 6- нагнетательный патрубок; 7- корпус; 8- звукопоглощающий кожух.

Когтевой (кулачковый) насос

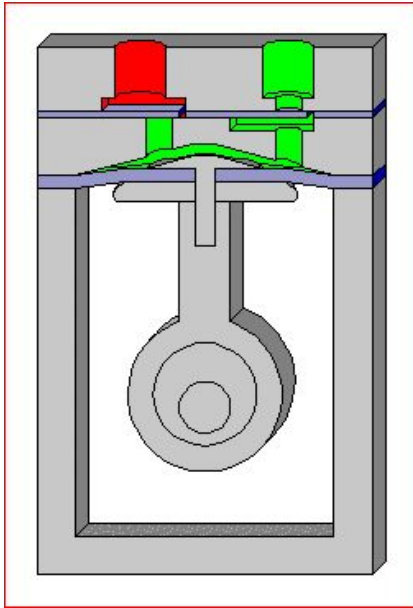
Скорость откачки 20-250 л/с
Предельное давление 10^3 Па



Водокольцевой насос

Скорость откачки 20-1000 л/с
Предельное давление 10^3 Па

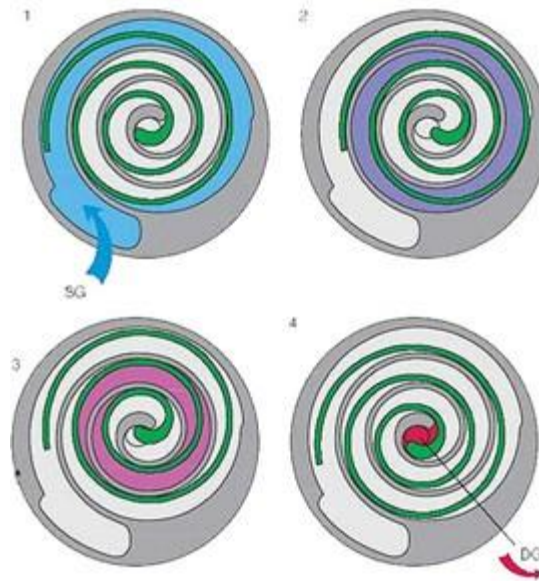
Некоторые схемы объемных насосов



**Мембранный (диафрагменный)
насос**

Скорость откачки 0,3-5 л/с
Предельное давление 100 Па

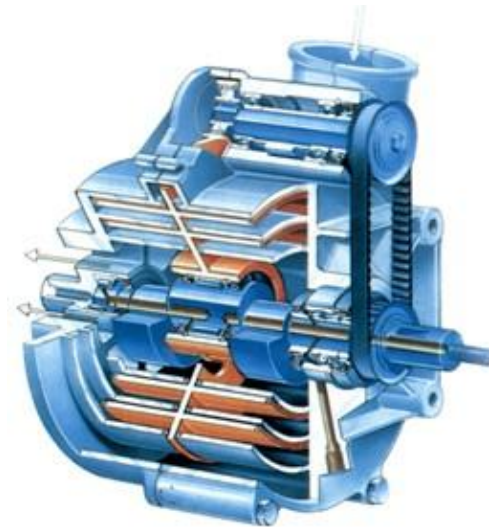
Безмасляный насос.



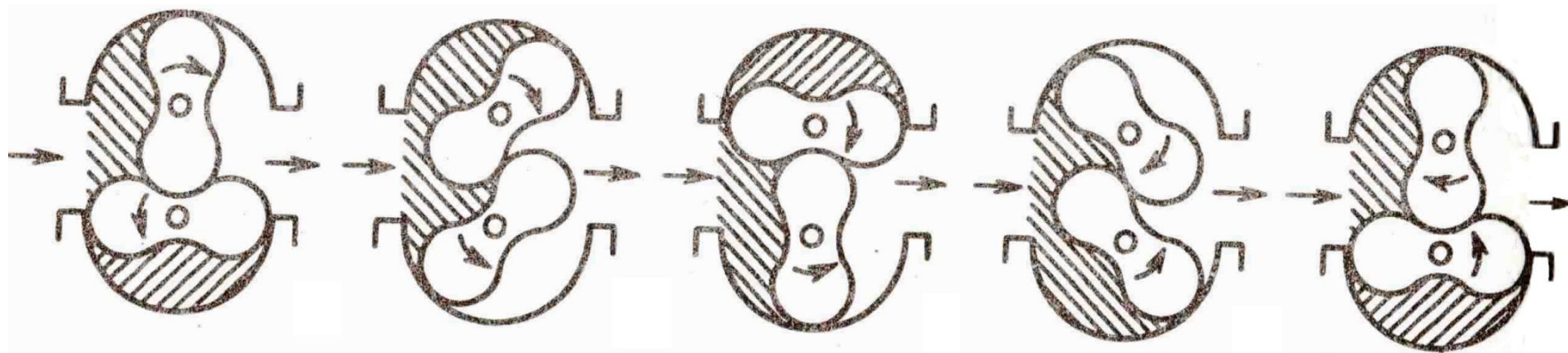
Спиральный насос

Скорость откачки 1,5-20 л/с
Предельное давление 10^{-1} Па

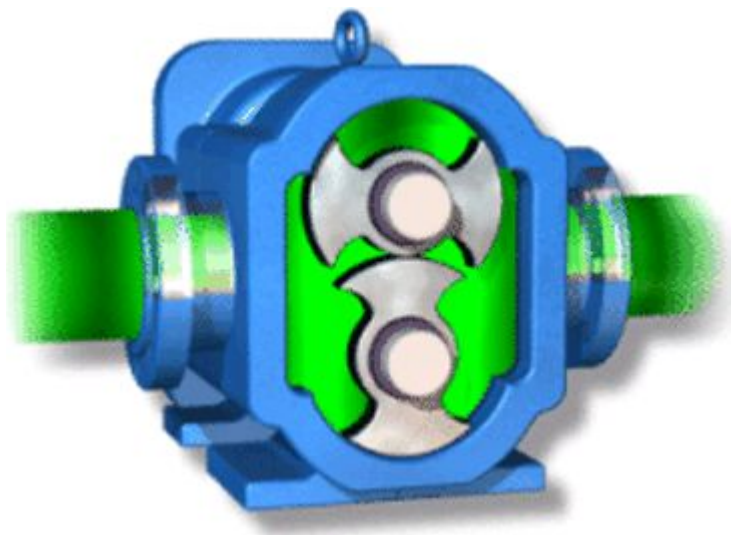
Безмасляный насос.



Двухроторные вакуумные насосы (насосы Рутса)



Последовательное положение роторов при работе двухроторного насоса



Двухроторный насос

Скорость откачки 30-800 л/с
Предельное давление 10^{-1} Па

Могут быть масляные и
безмасляные.

Используются в условиях среднего вакуума для быстрой откачки большого объема газов.

Механические вакуумные насосы

Принцип молекулярной откачки

Удаление газа из вакуумной системы с помощью движущихся поверхностей называется *молекулярной откачкой*.

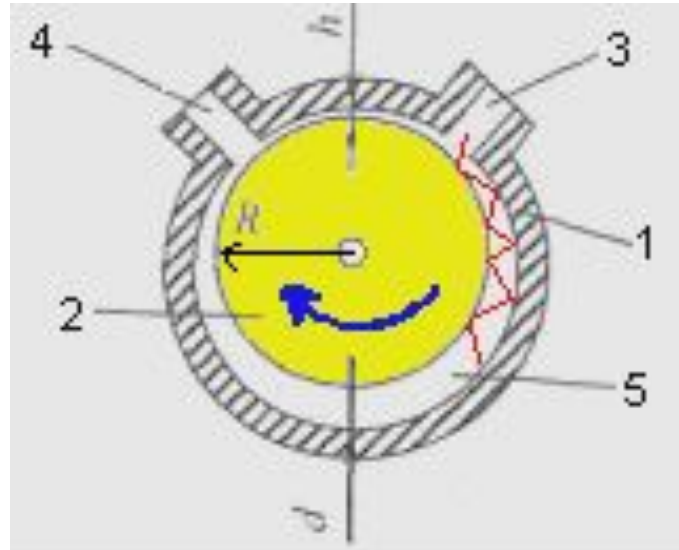
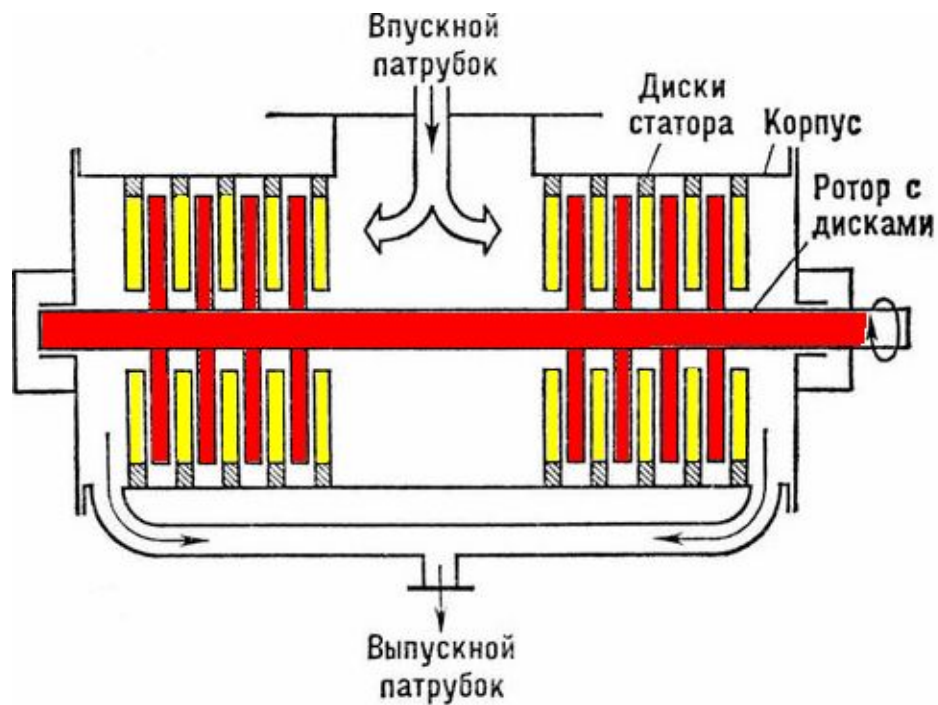


Схема механического молекулярного насоса: 1 - статор; 2 - ротор; 3 - впускное отверстие; 4 - выпускное отверстие; 5 - канал

$\frac{P_{вып}}{P_{пр}}$ - коэффициент компрессии (сжатия).

Схема турбомолекулярного насоса



Турбомолекулярный насос

Скорость откачки 40-6000 л/с

Предельное давление 10^{-9} Па

Безмасляный насос.

Пароструйные насосы

Принцип пароструйной откачки

Удаление газа из вакуумной системы с помощью высокоскоростной струи называется *пароструйной откачкой*.

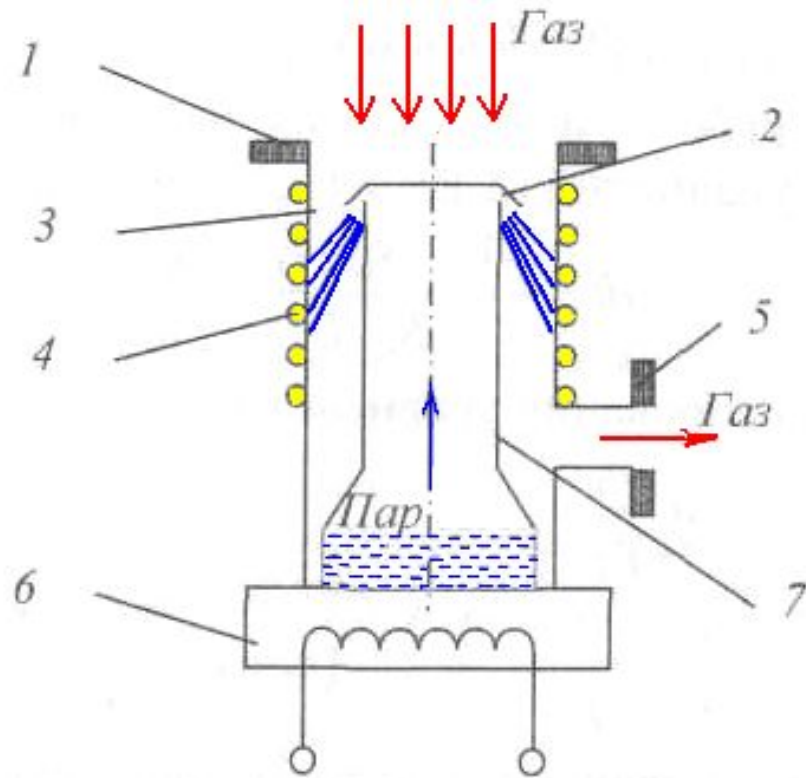


Схема диффузионного насоса:

- 1 - входное отверстие; 2 - сопло; 3 - рабочая камера насоса; 4 - охлаждение; 5 - выходной патрубок; 6 - нагреватель; 7 - паропровод



Диффузионный насос

Скорость откачки 130-18000 л/с
Предельное давление 10^{-8} Па
(при использовании криоловушек)

Масляный насос.

Взаимодействие откачиваемого газа с паровой струей зависит от степени вакуума.

При низком вакууме молекулы, находящиеся в пограничном с паровой струей слое, за счет сил внутреннего трения увлекают другие слои газа. Такие насосы называют эжекторными.

В области высокого вакуума механизм увлечения газа обусловлен диффузионными процессами. Вследствие разности концентраций газа над паровой струей и в самой струе происходит диффузия газа в струю. Такие насосы называются диффузионными.

Коэффициент компрессии для диффузионного насоса:

$$\frac{P_{\text{вып}}}{P_{\text{пр}}} = \exp\left(\frac{v_{\text{п}} L}{D_{\text{гп}}}\right),$$

где $U_{\text{п}}$ – скорость струи пара,

L – длина струи пара,

$D_{\text{гп}}$ – коэффициент диффузии газа через струю пара на выпускную сторону насоса.

$$D_{\text{ПП}} \neq 85,1 \cdot 10^{-23} \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2} \right)^{1/2} (\sigma_1 + \sigma_2)^{-2} \frac{3/2}{\text{П}} \frac{-1}{\text{П}},$$

где σ_1, σ_2 – диаметр молекул соответственно газа и пара,

M_1, M_2 - молекулярный вес соответственно газа и пара,

$T_{\text{П}}$ – температура пара,

$P_{\text{П}}$ - давление пара в струе.

Если рассматривать идеальный случай, когда откачка происходит через щель площадью A , то максимальная быстрота действия насоса будет:

$$S_H = \frac{A \cdot \overline{v_{ap}}}{4}, \quad \overline{v_{ap}} \text{ средняя арифметическая скорость молекул газа.}$$

Реальная быстрота действия будет меньше из-за неполного захвата молекул газа паровой струей.

Введем коэффициент χ_0 — вакуум-фактор или коэффициент эффективности диффузионной щели:

$$\chi_0 = \frac{1}{1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{\overline{v_{ap}}}{v_{\Pi}}}, \quad v_{\Pi} \text{ — скорость струи пара.}$$

Реальная быстрота действия для диффузионной щели в диапазоне давлений, когда она остается постоянной, будет равна:

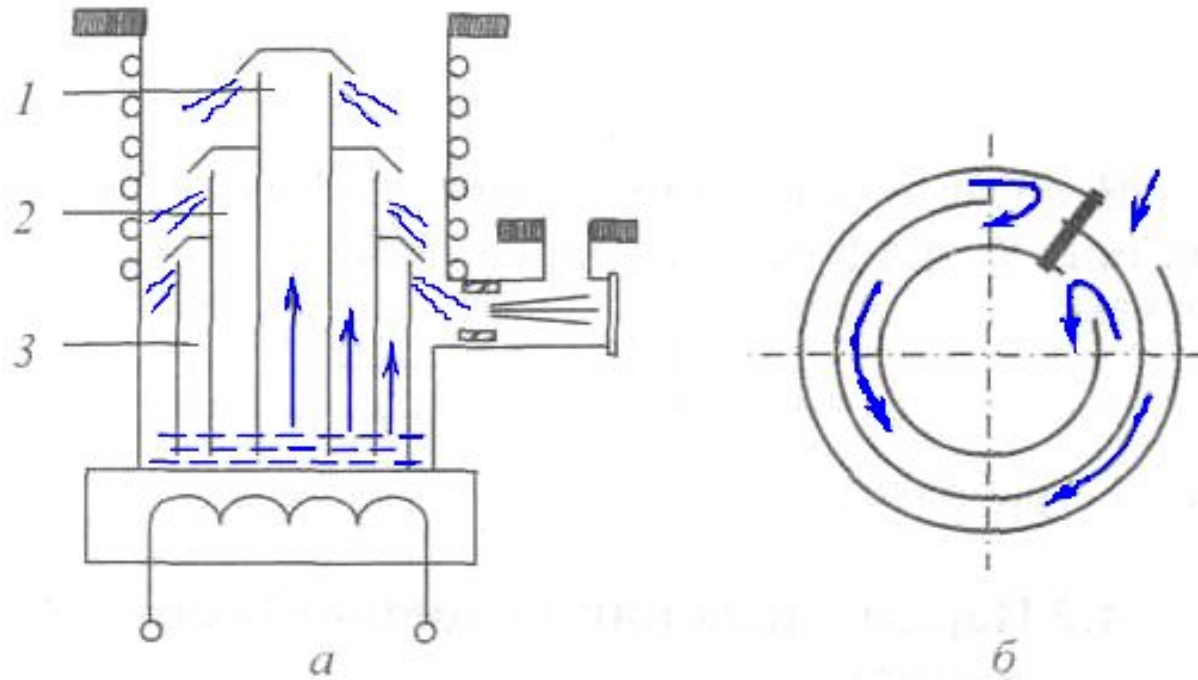
$$S_H = \frac{A \cdot \overline{v_{ap}}}{4} \cdot \chi_0$$

В области давлений, близких к предельному P_{np} , быстрота действия S_H диффузионного насоса определяется:

$$S_H = \frac{A \cdot \overline{v_{ap}}}{4} \cdot \chi_0 \left(1 - \frac{P_{np}}{P}\right), \quad P \text{ - рабочее давление}$$

Трехступенчатый диффузионный насос

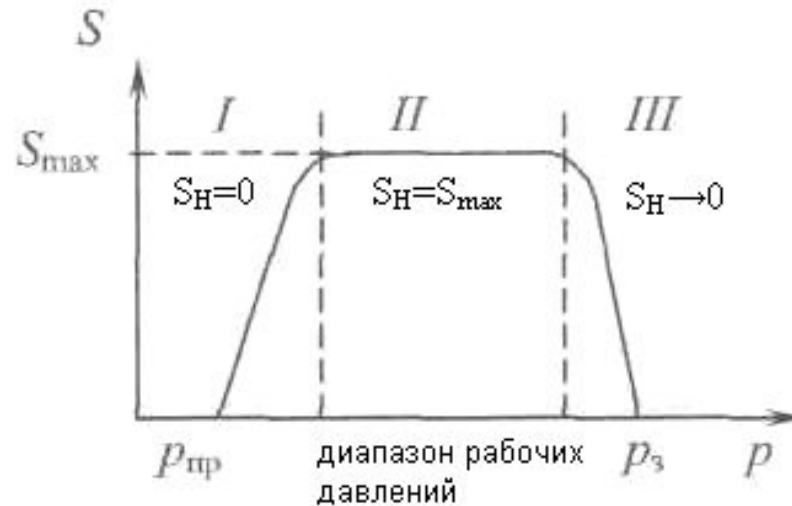
В паромасляных диффузионных насосах используются рабочие жидкости органического происхождения с низким давлением насыщенных паров 10^{-7} — 10^{-9} Па. Эти масла представляют смесь фракций с различным давлением насыщенного пара и различной массой. С учетом этого в насосах предусмотрено фракционирование рабочей жидкости за счет многоступенчатой конструкции насоса.



а — расположение паропроводов; б — система фракционирования;
Трехступенчатый паромасляный диффузионный насос

Параметры паромасляных диффузионных насосов

Основной характеристикой пароструйных насосов является зависимость быстроты действия от давления на входе в насос:

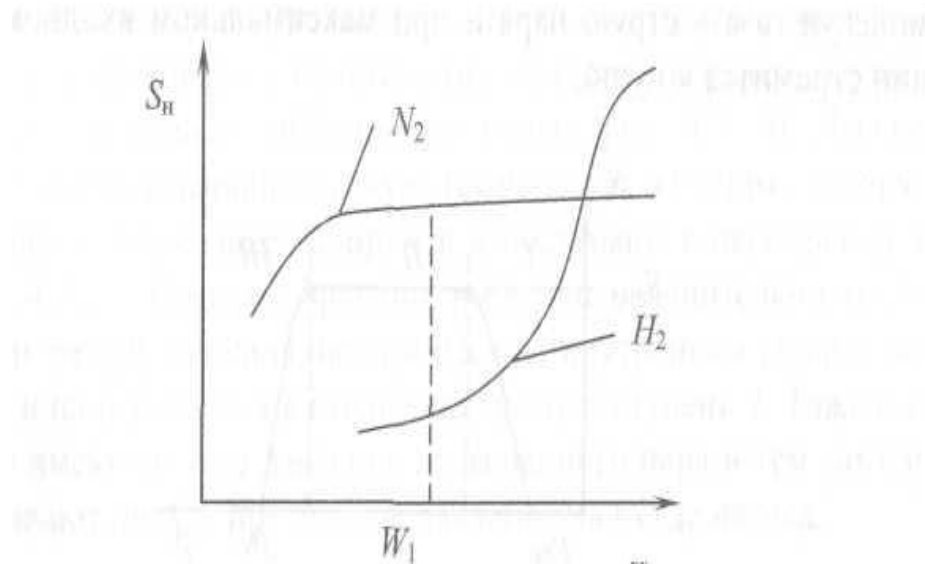


Быстрота действия S_H зависит от совокупности изменения следующих параметров:

- мощности кипятильника,
- рода газа,
- температуры газа,
- рода рабочей жидкости.

Селективность откачки

Для получения максимальной быстроты действия по различным газам необходимо установить оптимальный режим подогрева для откачки каждого газа



Зависимость быстроты откачки от мощности кипятильника для разных газов