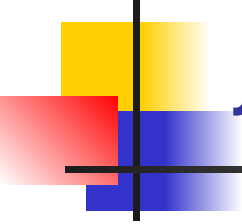


Курс «Пучковые технологии»

Профессор, д.т.н. **С.Ю. Соковнин**



Лекции 1

ВАКУУМ:

Физические свойства

Получение

Измерение



1.1. Физические положения



Основные постулаты

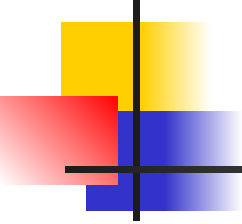
1. газ состоит из отдельных движущихся молекул;
2. существует постоянное распределение молекул по скоростям; одной и той же скоростью обладает всегда одинаковое число молекул;
3. при движении молекул газа нет преимущественных направлений, т.е. пространство газовых молекул изотропно;
4. температура газа – величина пропорциональная средней кинетической энергии молекул;
5. при взаимодействии с поверхностью твердого тела молекула газа адсорбируется.



Уравнение газового состояния

$$p = \frac{N m}{V M} R T$$

- M – молекулярная масса;
- V – объем газа;
- N – число молекул;
- m – масса молекулы
- R – универсальная газовая постоянная,
 $R = k N_A = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/(К моль) - численно равна работе расширения одного моля идеального газа в изобарном процессе при увеличении температуры на 1 К.
- k - постоянная Больцмана,
- N_A – число Авогадро, $N_A = M/m = 6,02 \cdot 10^{26}$ кмоль⁻¹



Объем газа, ударяющийся о единицу поверхности в единицу времени с учетом распределения по скоростям:

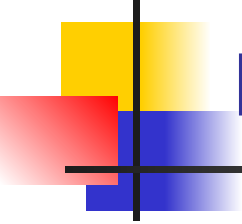
$$V_q = \frac{N_q}{n} = v_{ap} / 4$$

v_{ap} - среднеарифметическая скорость молекул.

Максимальная быстрота действия идеального вакуумного насоса:

$$N_q = n v_{ap}$$

где N_q – число молекул, ударяющихся о единицу поверхности в единицу времени с учетом распределения по скоростям



Единицы измерения давления:

Внесистемная единица давления 1 мм рт.ст.

1 мм рт.ст. = $133,32239 \text{ Н/м}^2$

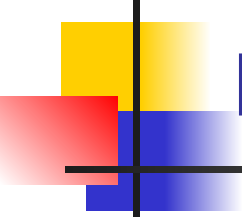
плотность ртути $13595,1 \text{ кг/м}^3$ (при 0°C)

земное ускорение 9.80665 м/с^2

широта $45,0^\circ$

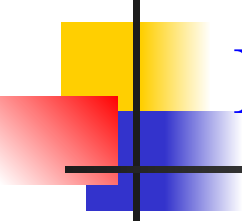
1 бар = 10^5 Па

1 физ. ат. = $1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$



Перевод единицы измерения давления:

Единица	Па	Мбар	мм рт. ст.	атм
Па	1	10^{-2}	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$9,87 \cdot 10^{-6}$
Мбар	10^2	1	0,75	$9,87 \cdot 10^{-4}$
мм рт. ст.	$1,33 \cdot 10^2$	1,33	1	$1,32 \cdot 10^{-3}$
атм	$1,01 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^3$	760	1



Нормальные условия для воздуха:

давление 10^5 Па

температура 273 К

объем, занимаемый 1 кмоль $22,4$ м³.

концентрация воздуха $n=2,7*10^{25}$ м⁻³

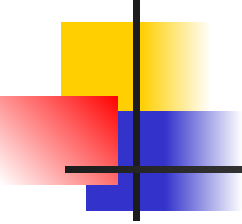
среднеарифметическая скорость $v_{ap}=400$ м/с

частота соударений молекул с

поверхностью твердого тела $N_q=2,7*10^{27}$ м⁻²с⁻¹

объем газа, ударяющий о поверхность

твердого тела $V_q=100$ м³/(с*м²)



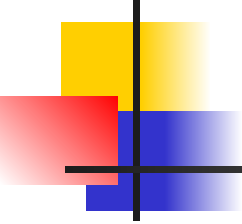
Длительность свободного пробега:

$$L_0 = u / \nu_c = 1 / \pi \sigma^2 n$$

- n – число молекул в единичном объеме
- ν_c – число соударений за секунду
- σ - эффективный объем

С учетом распределения скоростей:

$$L = \frac{1}{\pi \sqrt{2} \sigma^2 n} = \frac{kT}{\pi \sqrt{2} \sigma^2} \frac{1}{p}$$



Частоты столкновений между молекулами K_m обратно пропорциональна средней длине свободного пути: $K_m = v_{ap}/L$.
Общие число соударений K_c со стенками камеры $Snv_{ap}/4$,
приходящегося на nV молекул со стенкой в ед. времени на молекулу:

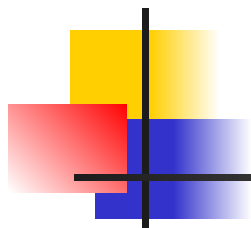
$$K_c = Snv_{ap}/(4V) = v_{ap}/d_{эф},$$

Где:

S – площадь поверхности стенок, соприкасающихся с разреженным газом,

V – объем камеры,

$d_{эф} = 4V/S$ – эффективный размер вакуумной камеры.



Для молекулы газа внутри сферического сосуда диаметром D
эффективный размер камеры:

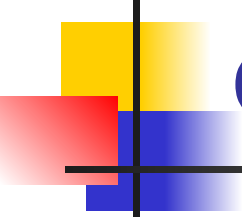
$$d_{\text{эф}} = (2/3)D,$$

для трубы бесконечной длины с диаметром D :

$$d_{\text{эф}} = D,$$

для двух бесконечных параллельных поверхностей,
расположенных на расстоянии D друг от друга:

$$d_{\text{эф}} = 2D$$



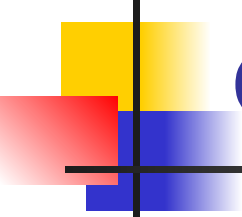
Степени вакуума физический подход

Отношение K_c/K_m критерий Кнудсена:

$$K_n = K_c/K_m = L/d_{эф}$$

Из условий течения молекул газа

- **Низкий вакуум (ламинарное)** – взаимные столкновения между молекулами преобладают над столкновениями молекул газа со стенками вакуумной камеры. $K_n \ll 1$. Длина свободного пробега значительно меньше размеров вакуумной камеры.
- **Средний вакуум** – частоты соударений молекул друг с другом и со стенками камеры одинаковы, $L \approx d_{эф}$, а $K_n \approx 1$
- **Высокий вакуум (молекулярное)** – столкновения молекул газа со стенками камеры преобладают над взаимными столкновениями молекул газа. $K_n > 1$

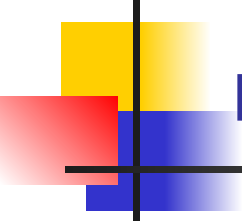


Степени вакуума технический подход

- Низкий вакуум – $10^2 - 10^4$ Па;
- Средний вакуум – 100 - 0,1 Па;
- Высокий вакуум – 10^{-5} Па и менее.

Основные отличия состоят в используемых:

- насосах для откачки;
- типах используемой запорной аппаратуры;
- материалах для изготовления камер;
- материалах, способах и видах соединений и прокладок;
- способах измерения вакуума.



Номинальные условные проходы по ГОСТ 6536-69:

Для средств получения вакуума (насосы, агрегаты), элементов вакуумных систем (клапаны, ловушки, натекатели) и фланцевых соединений манометрических преобразователей

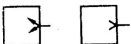
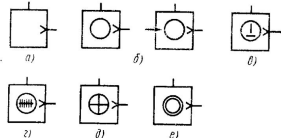
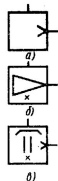
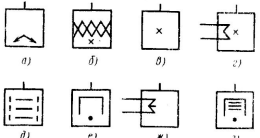
по ряду Ra5: 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400....6300 мм.

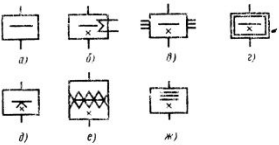
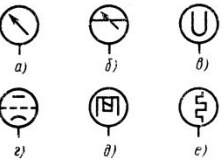
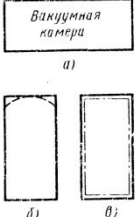
Обозначение: $D_y = 100$.

Для специальных технологических конструкций (фланцевых, штуцерных соединений, трубопроводов) соединений

по ряду Ra10: 8, 12, 20, 32, 50, 80, 125, 200, 320....5000 мм.

Обозначения в принципиальных вакуумных схемах по ГОСТ 2.797-81

Элемент вакуумной схемы	Условное графическое изображение
Насос вакуумный. Общее назначение Примечание. Стрелки можно не изображать, если это не приведет к неправильному пониманию обозначения	
Насос вакуумный механический: а — общее назначение б — вращательный объемный (пластинчато-роторный, пластинчато-статорный, плунжерный) без газобалласта и газобалластный в — двухроторный (насос Рутса) г — турбомолекулярный д — волокоольцевой е — вращательный объемный, трехступенчатый	
Насос вакуумный струйный: а — общее обозначение б — эжекторный в — диффузионный Примечание. Вместо знака х можно указывать химическую формулу жидкости (например, вода — H_2O, масло — CH, ртуть — Hg и др.)	
Насос вакуумный сорбционный: а — общее обозначение б — адсорбционный в — испарительный геттерный г — криосорбционный д — испарительный ионный е — магнитный электроразрядный ж — криогенный з — комбинированный (комбинация геттерного и магнитного электроразрядного насосов, размещенных в едином корпусе) Примечание. Вместо знака х можно указывать химическую формулу сорбента	

Элемент вакуумной схемы	Условное графическое изображение
Ловушка (отражатель): а — общее обозначение б — охлаждаемая циркулирующей жидкостью в — охлаждаемая воздухом г — охлаждаемая жидкостью, заливаемой в резервуар д — термоэлектрическая е — сорбционная ж — ионная Примечание. Вместо знака х можно указывать температуру охлаждаемой поверхности	
Вакуумметр: а — общее обозначение б — деформационный в — жидкостный г — ионизационный д — магнитный электроразрядный е — тепловой	
Теченскатель	
Масс-спектрометр	
Камера вакуумная: а — общее обозначение б — колпак вакуумный в — прогреваемая часть вакуумной системы	

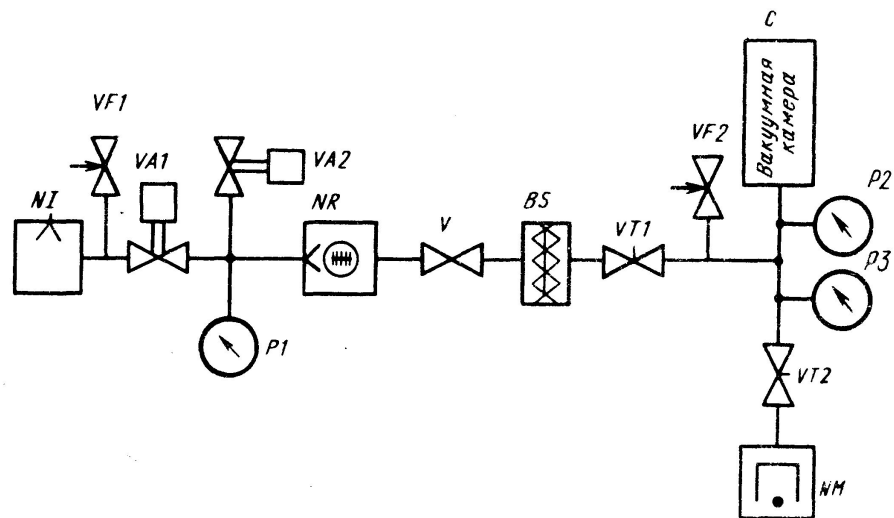
Обозначения в принципиальных вакуумных схемах по ГОСТ 2.797-81

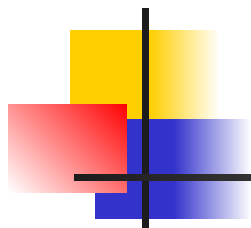
Элемент вакуумной схемы	Условное графическое изображение
Сосуд Дьюара: <i>а</i> — открытые <i>б</i> — закрытый	
Трубопровод вакуумный П р и м е ч а н и е. Направление газового потока при откачке в случае необходимости показывают стрелкой	
Соединение вакуумных трубопроводов: <i>а</i> — общее обозначение <i>б</i> — неразъемное (сварное, паяное, завальцованное)	
Соединение элементов вакуумных трубопроводов разъемное: <i>а</i> — общее обозначение <i>б</i> — фланцевое <i>в</i> — штуцерное <i>г</i> — муфтовое эластичное	
Перекрещивание вакуумных трубопроводов (без соединения)	
Конец вакуумного трубопровода под разъемное соединение: <i>а</i> — общее обозначение <i>б</i> — фланцевое <i>в</i> — штуцерное <i>г</i> — муфтовое эластичное	

Элемент вакуумной схемы	Условное графическое изображение
Конец вакуумного трубопровода с заглушкой (пробкой): <i>а</i> — общее обозначение <i>б</i> — фланцевый <i>г</i> — штуцерный	
Детали соединений вакуумных трубопроводов: <i>а</i> — тройники <i>б</i> — крестовины <i>в</i> — колена, отводы <i>г</i> — гребенка <i>д</i> — шланг вакуумный <i>е</i> — компенсатор сильфонный <i>ж</i> — патрубки со штуцерным и фланцевым соединениями П р и м е ч а н и я: 1. При обозначении конструктивного оформления соединения элементов вакуумного трубопровода с сопрягаемыми деталями следует пользоваться обозначениями, принятыми для разъемных соединений. 2. Обозначения элементов допустимо изображать в соответствии с их действительной конфигурацией (см., например, вариант ж)	
Вентиль, клапан: <i>а</i> — проходной <i>б</i> — угловой <i>в</i> — с задвижкой <i>г</i> — трехходовой <i>д</i> — дроссельный <i>е</i> — предохранительный <i>ж</i> — запорный быстродействующий на открытие <i>з</i> — запорный быстродействующий на закрытие	
Затвор поворотный	

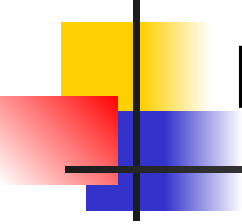
Обозначения в принципиальных вакуумных схемах по ГОСТ 2.797-81

Элемент вакуумной схемы	Условное графическое изображение
Кран:	
а — проходной	a)
б — угловой	б)
в — трехходовой	в)
Натекатель, клапан регулирующий	
Шайба дроссельная, сужающее устройство расходомерное (диафрагма)	





1.2. Получения вакуума



Классификация насосов

по назначению:

- сверхвысоковакуумные
- высоковакуумные
- средневакуумные
- низковакуумные

по принципу действия:

- механические
- физико-химические

ыстрота откачки насоса S_i в произвольном
 эчении соединительного трубопровода

$$S_i = dV_i / dt$$

ыстрота откачки объекта

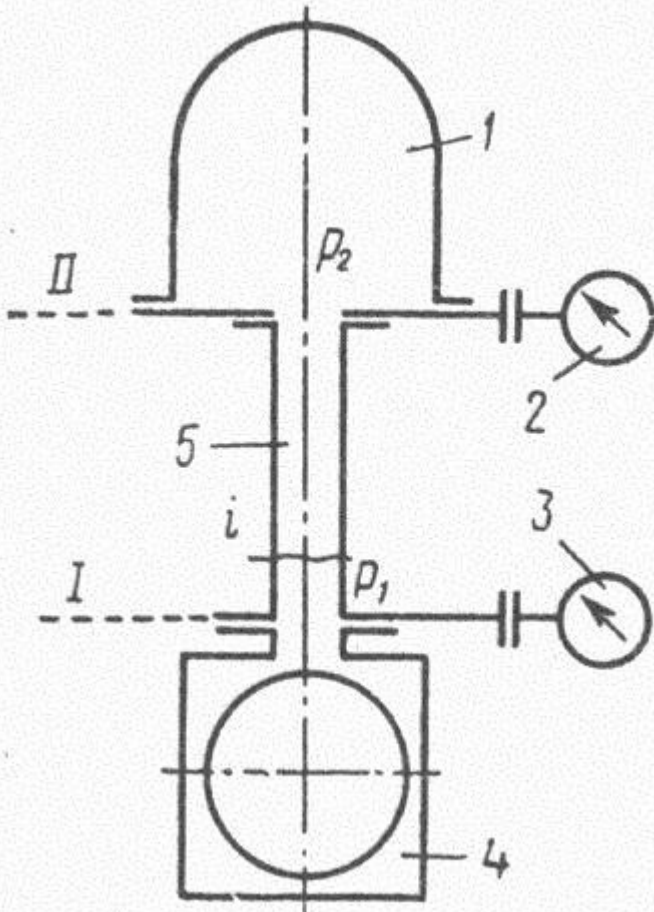
$$S_{\text{эф}} = dV_2 / dt$$

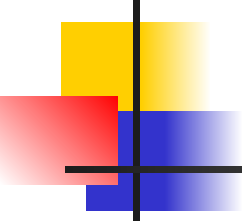
ыстрота действия насоса

$$S_n = dV_1 / dt$$

эффицент использования насоса

$$K_u = S_{\text{эф}} / S_n$$





Основное уравнение вакуумной техники

Для стационарного потока Q выполняется условие сплошности:

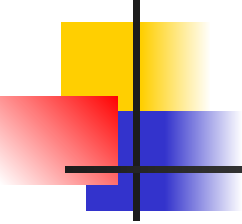
$$Q = p_1 S_n = p_2 S_{эф} = p_i S_i ,$$

p_i – давление в i -м объёме.

Из уравнения стационарной диффузии газа в элементе вакуумной системы, уравнения газового состояния и условий сплошности:

$$1/S_{эф} = 1/S_n + 1/U$$

U – проводимость элемента вакуумной системы $\text{м}^3/\text{с}$



Быстрота откачки объекта определяется:

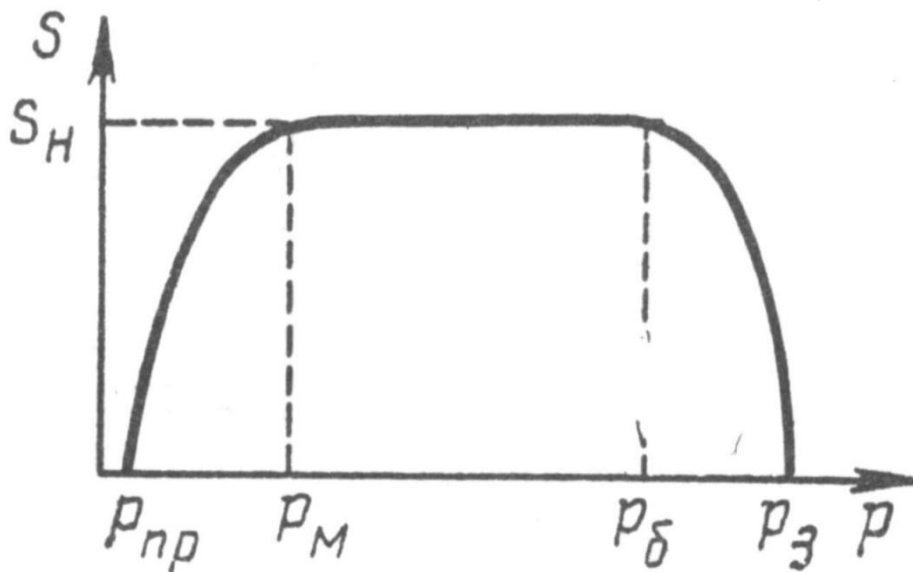
$$S_{\text{эф}} = S_{\text{н}} U / (S_{\text{н}} + U)$$

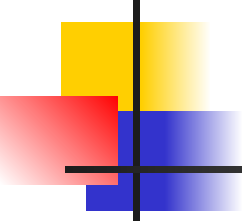
При условии $S_{\text{н}} = U$ получается, что $S_{\text{эф}} = 0,5 S_{\text{н}}$.

Если $U \rightarrow \infty$, то $S_{\text{эф}} \rightarrow S_{\text{н}}$;

при $U \rightarrow 0$ следует, что $S_{\text{эф}} \rightarrow 0$.

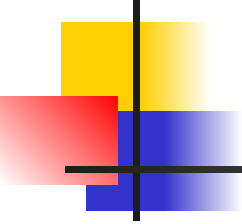
Зависимость быстроты действия от давления на входе – основная характеристика насоса



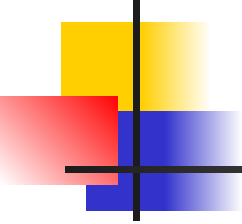


Основные параметры вакуумного насоса:

- S_n быстрота действия
- $p_{пр}$ предельное давление (без объекта)
- p_m наименьшее рабочее давление
- $p_{\bar{o}}$ наибольшее рабочее давление
- p_z наибольшее давление запуска

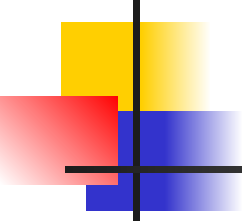


1.3. Механические вакуумные насосы



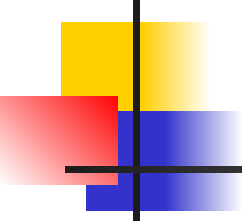
Классификация механических вакуумных насосов по принципу откачки:

- **объемные** -откачка осуществляется за счет периодического изменения объема рабочей камеры;
- **молекулярные** — откачка за счет передачи молекулам газа количества движения от твердой, жидкой или парообразной быстродвижущейся поверхности



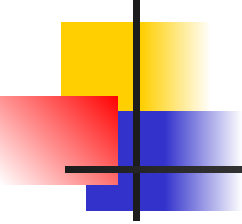
В процессе объемной откачки происходит:

1. всасывание газа за счет расширения рабочей камеры насоса;
2. уменьшение объема рабочей камеры и сжатие находящихся в ней газа;
3. удаление сжатого газа в атмосферу или насос предварительного сжатия.



Объемные насосы подразделяются на:

- Поршневые.
- Жидкостно-кольцевые.
- Ротационные
- Плунжерные.



Поршневые насосы

откачка осуществляется за счет периодического изменения объема цилиндра

предельное давление $4 \cdot 10^3 \dots 1 \cdot 10^4$ Па.

быстрота действия 10...4000 л/с

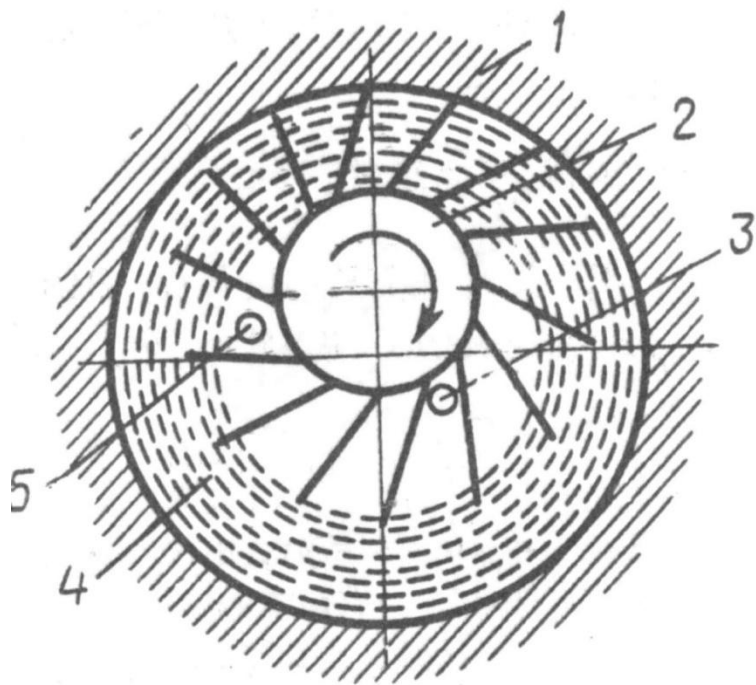
Достоинство:

начинают работать от атмосферного давления

Недостаток:

большие потери на трение

Жидкостно-кольцевые насосы

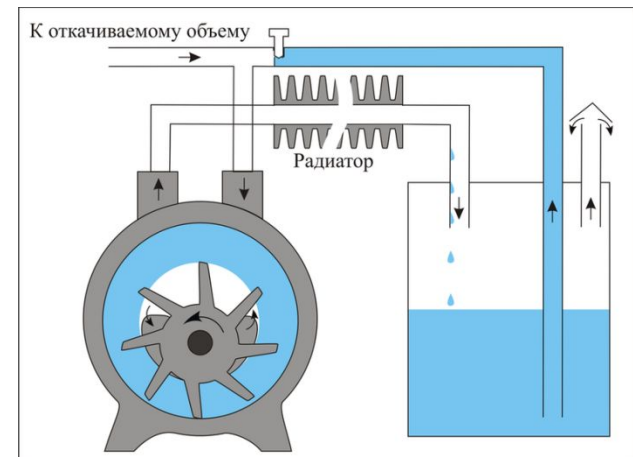


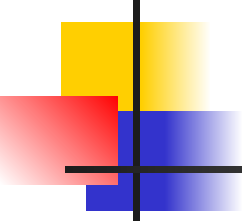
Рабочая жидкость — вода (жидкости, щелочи, органические жидкости) при вращении отбрасывается к корпусу. Принцип действие — уменьшение объема рабочих ячеек при вращении, давление возрастает и газ поступает в нагнетательное окно при его проходе.

1 — корпус, 2 — рабочее колесо с лопатками, 3 — всасывающее окно, 4 — рабочая жидкость, 5 — нагнетательное окно.

Достоинства жидкостно-кольцевых насосов:

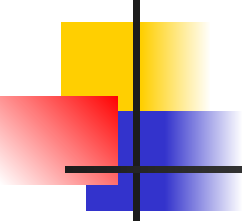
- проще поршневых и надежны;
- имеют низкий уровень шума;
- процесс откачки близок к изотермическому, что позволяет откачивать пожаро- и взрывоопасные жидкости;
- наличие жидкого кольца позволяет откачивать газ с каплями жидкости и частицами пыли;
- при подборе жидкости можно откачивать агрессивные газы, например с серной кислотой откачивают хлор;
- работают от атмосферного давления.





Недостатки жидкостно-кольцевых насосов:

- высокие затраты энергии на вращение жидкости, что приводит к низкому КПД;
- высокое предельное остаточное давление – 2-3 кПа;
- относительно большие габариты из-за небольшой окружной скорости.



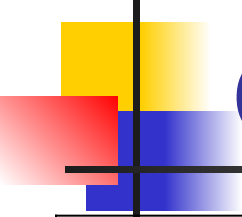
Области применения жидкостно-кольцевых насосов:

- химическая промышленность;
- целлюлозно-бумажная промышленность;
- горнодобывающая промышленность;
- текстильная промышленность;
- стальная промышленность (дегазация стали);
- пищевая промышленность;
- фармацевтическая промышленность;
- коммунальное и сельское хозяйства,

Производители:

ОАО «ВАКУУММАШ», г. Казань

Finder Pompe SpA, Италия <http://www.tako-vakuum.ru>



Технические характеристики насосов ВВН

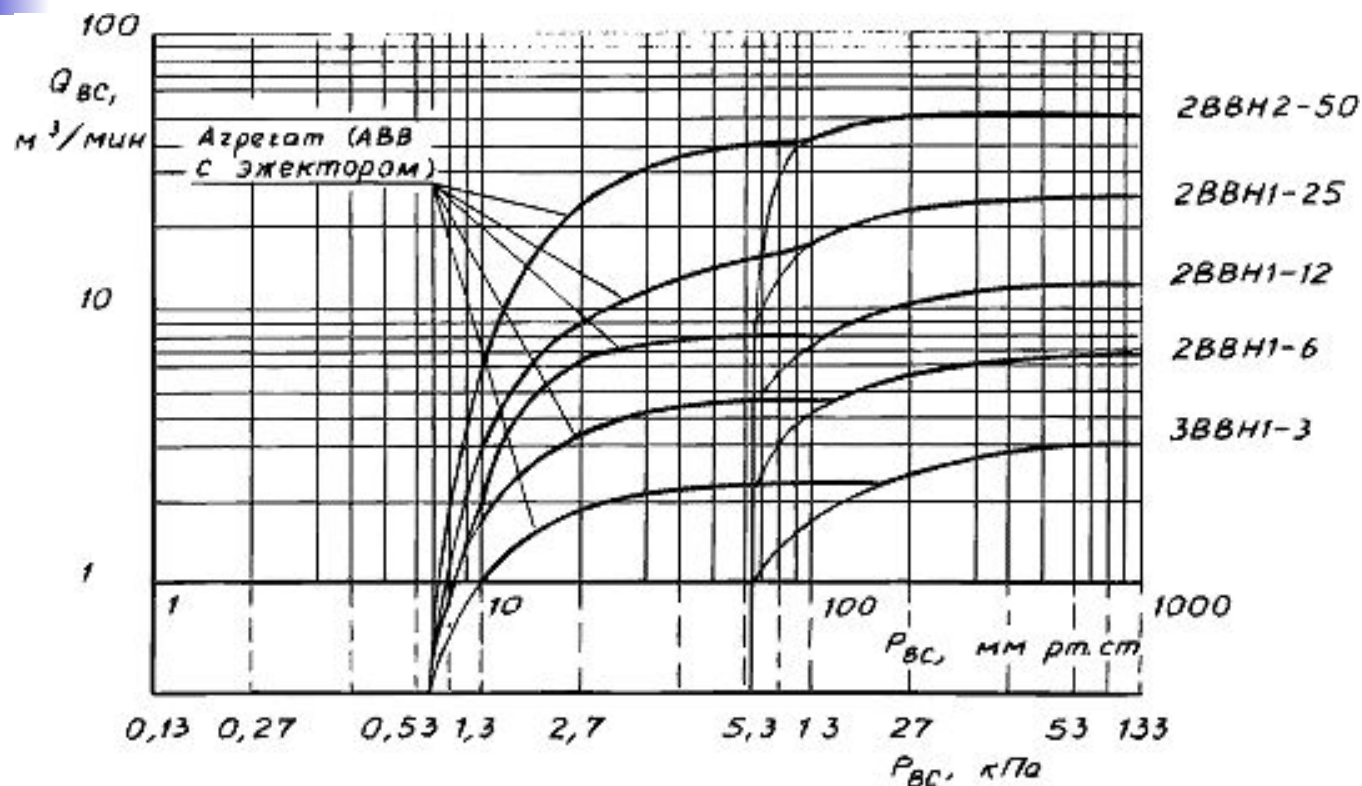
(<http://vacma.ru>):

Параметр	ВВНС-0, 3	ВВН-2	3ВВН1 -3	3ВВН1 -6	2ВВЕ1- 12	2ВВН1 -25	2ВВН2 -50
Производительность, приведенная к НУ, при начальном давлении 40 кПа, м ³ /мин	0,3	1,8	3	6	12	25	45
Мощность электродвигателя, кВт	1,1	4	5,5	11	22	55	110
Масса, кг	25	80	135	400	900	2100	2750
Расход воды, дм ³ /мин	2	6	8	12	35	45	75

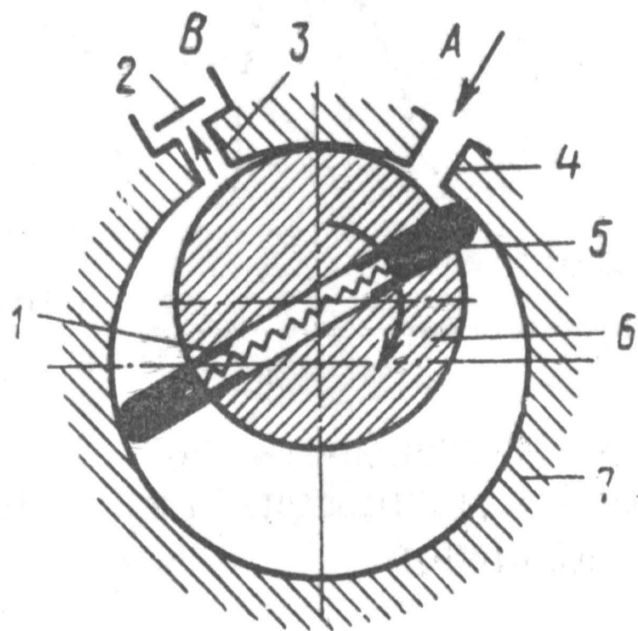
Внешний вид насосов ВВН



Зависимость производительности водокольцевых насосов и агрегатов



Пластинчато-роторные и пластинчато-статорные

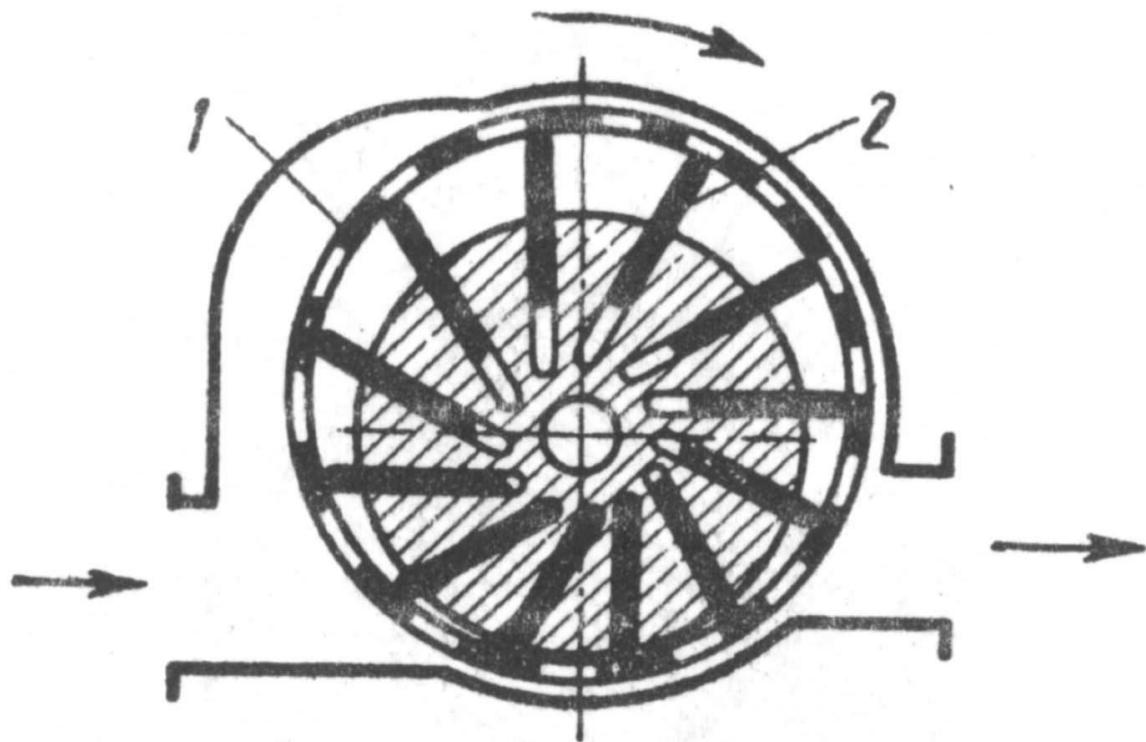


Пластины под действием центробежных сил подпружиненные 1 пластины 5 прижимаются к корпусу 7.

Происходит забор газа через вход 4, затем газ сжимается и выбрасывается в выхлоп 3, который имеет клапан 2.

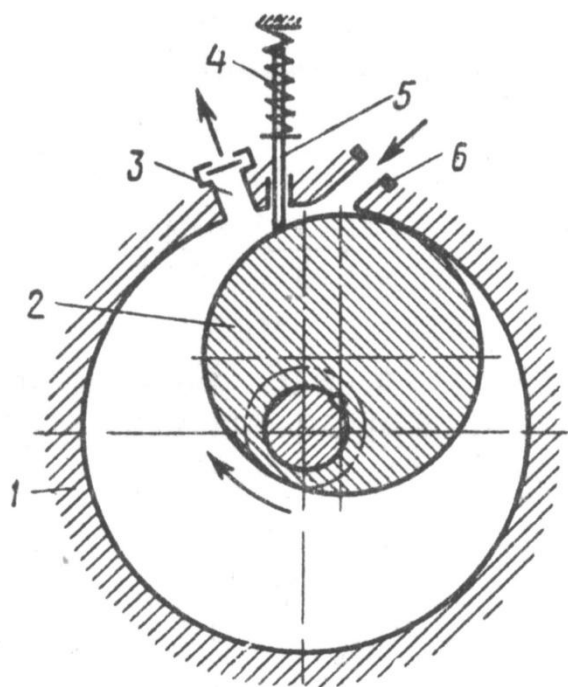
Число пластин может меняться.

Многопластинчатый роторный насос

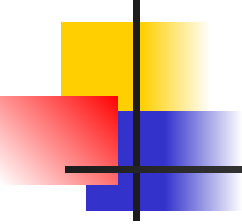




Пластинчато-статорный насос



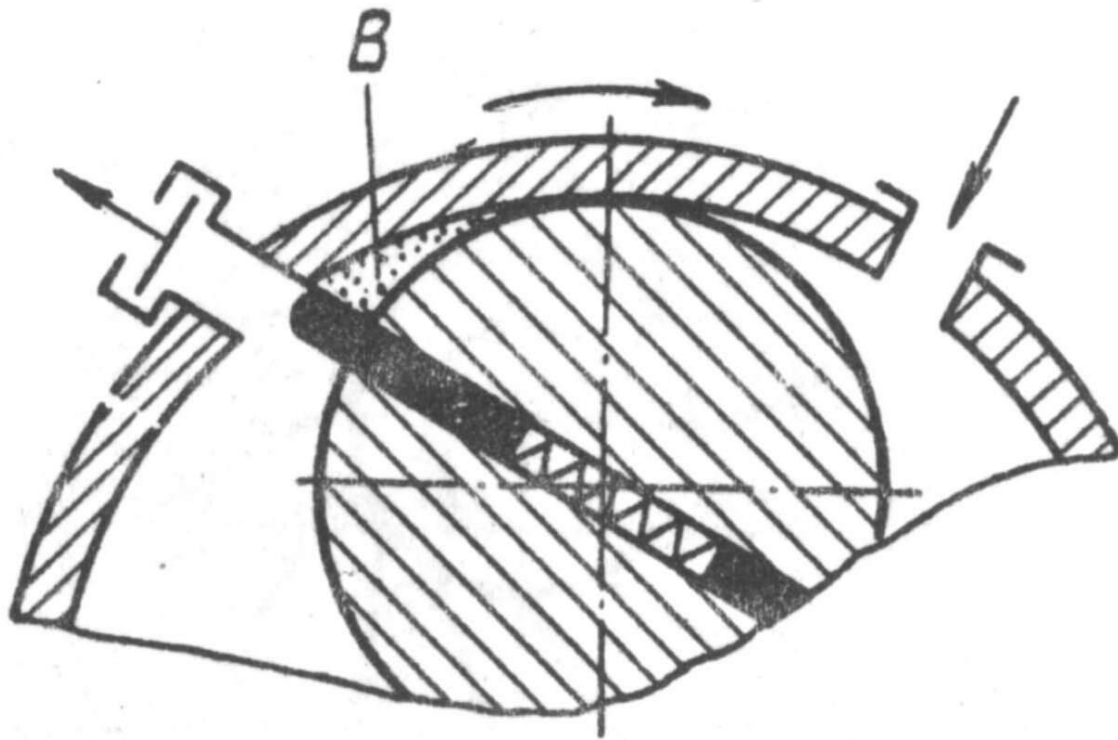
Пластина 5 движется возвратно-поступательно в пазу корпуса 1, прижимаясь к ротору 2 пружиной 4 и делит серпообразную полость между ротором и корпусом на две рабочие ячейки. Когда входной патрубок 6 открыт происходит забор газа, затем он сжимается и выбрасывается через патрубок с клапаном 3.

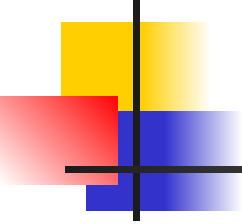


Достоинства пластинчато-роторных насосов:

- работают от атмосферного давления;
- достаточно высокое предельное давление, которое определяется:
 - а. газовыделения материалов насоса,
 - б. объемом вредного пространства,
 - с. и давлением насыщенных паров масел;
- высокая производительность.

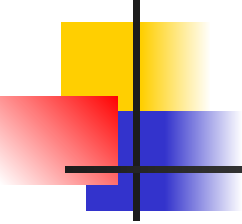
Впелное пространство





Недостатки пластинчато-роторных насосов:

- требуют предварительной очистки газов;
- нельзя откачивать агрессивные жидкости;
- пары масла проникают в откачиваемый объем;
- требуется применение высококачественных вакуумных масел марки VM-1 или VM-5.



Области применения пластинчато-роторных насосов:

- предварительная откачка вакуумных систем среднего и высокого вакуума;
- работа в качестве первой ступени с насосами других типов.

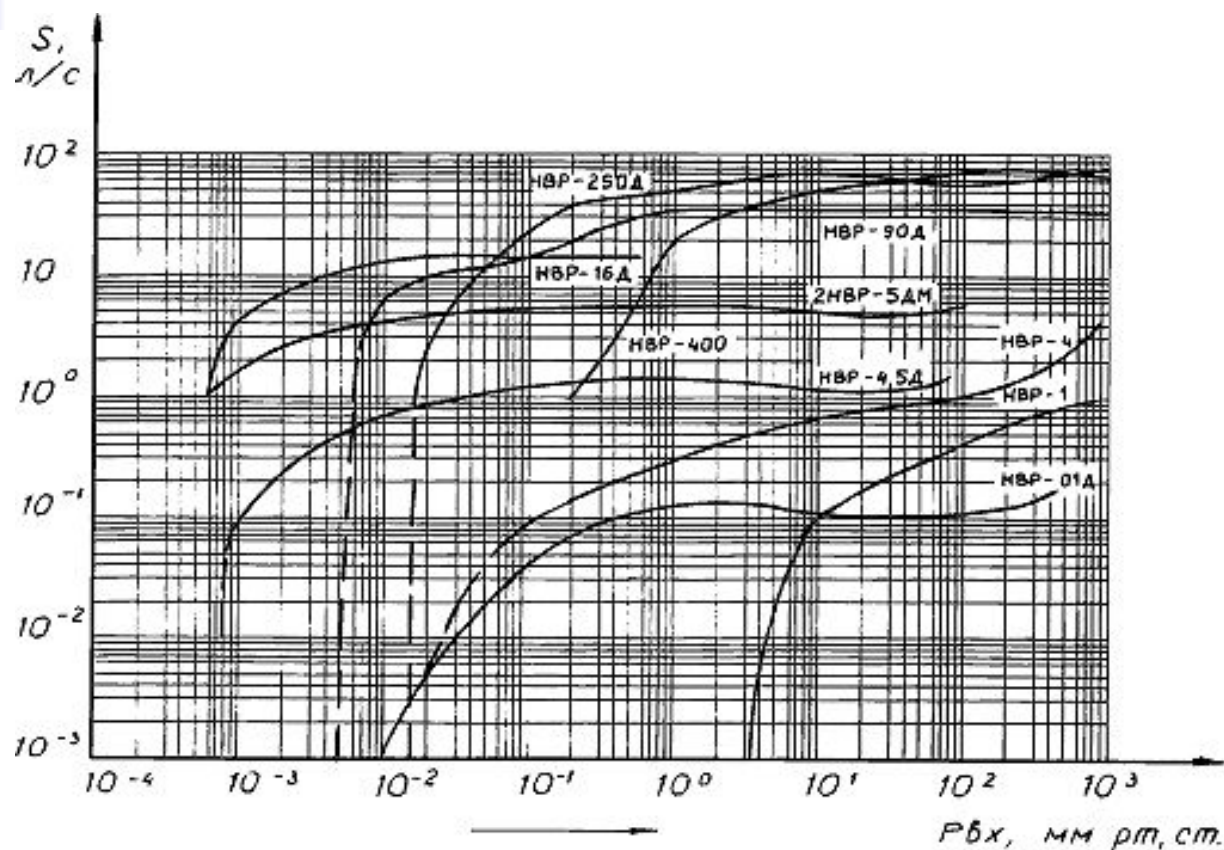
Производители:

ОАО «ВАКУУММАШ», г. Казань

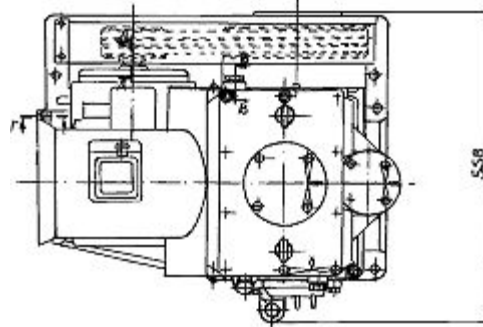
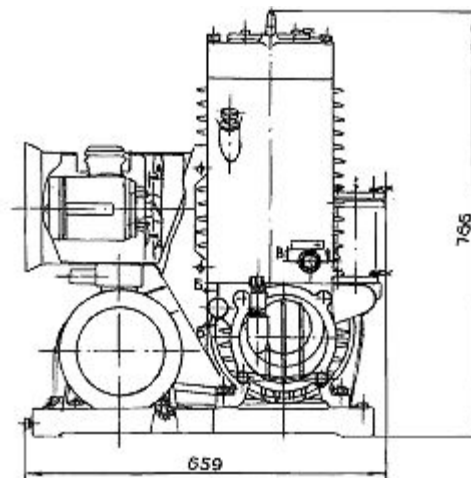
Технические характеристики насосов типа НВР (<http://vacma.ru>):

Показатель	2НВР-0,1Д	НВР-0,1Д	НВР-1	НВР-4,5Д	2НВР5ДМ	НВР16Д	НВР-90Д	НВР-250Д	НВР-400
Быстрота действия, л/с	0,1	0,1	1	1,25	5,5	18	25	63	100
Предельное остаточное давление (полн.), мм рт.ст.	5×10^{-2}	5×10^{-2}	10	$1,5 \times 10^{-2}$	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	5×10^{-3}	$7,5 \times 10^{-2}$
Мощность э/д, кВт	0,040* *	0,035*	0,18	0,25	0,55	2,2	2,2	5,5	11
Напряжение, В	220	12 или 27	380						
Род тока	перем.	пост.	перем.						
Частота, Гц	50	-	50						
Масса, кг	2,3	1,6	8	10	26	78	100	210	250

Зависимость производительности насосов типа НВР от давления на входе



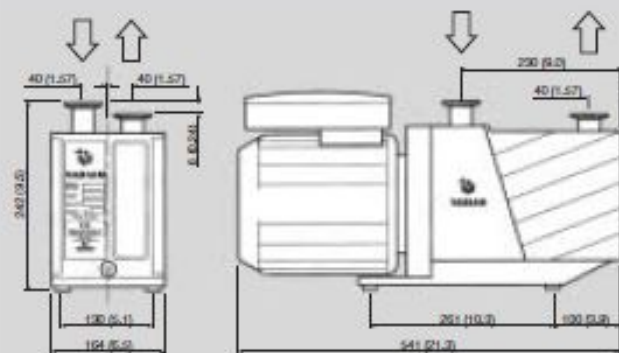
Внешний вид пластинчато-роторных насосов



Varian



Outline Drawing



Alternative mounting holes are also available, with thread 1/4-20UNC

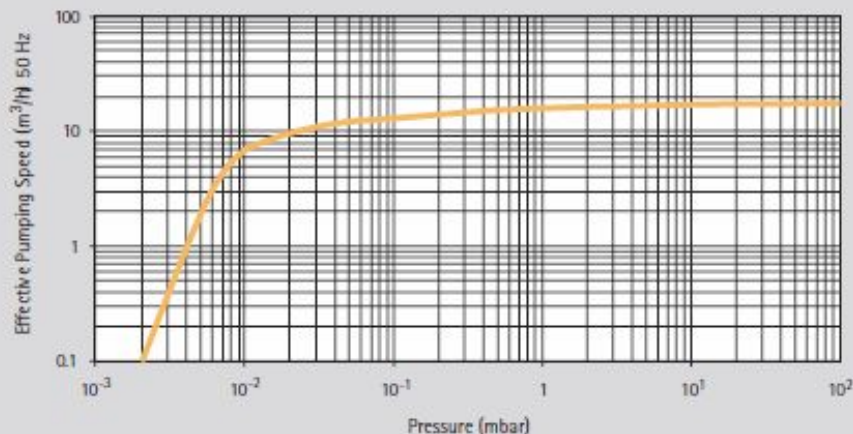
Dimensions: millimeters (inches)

Technical Specifications

Free air displacement	60 Hz: 410 l/min (14.5 cfm)	50 Hz: 342 l/min (20.5 m³/h)
Pumping speed*	60 Hz: 12.3 cfm	50 Hz: 17.4 m³/h
Ultimate partial pressure*	10 ⁻⁴ mbar	
Ultimate total pressure*	2 x 10 ⁻³ mbar	
Ultimate total pressure with gas ballast*	1 x 10 ⁻² mbar	
Water vapor tolerance	30 mbar	
Water vapor capacity	350 g/h	
Oil capacity min/max	0.5/1 l	
Motor rating 1ph	60 Hz: 0.90 kW	50 Hz: 0.75 kW
Motor rating 3ph	60 Hz: 0.90 kW	50 Hz: 0.75 kW
Nominal rotation speed	60 Hz: 1800 rpm	50 Hz: 1500 rpm
Weight kg (lbs)	35 (77)	
Inlet flange	25KF DN	
Exhaust flange	25KF DN	

* According to PNEUROP 6602

Pump Speed Curve



Ordering Information

Dual Stage Rotary Vane Pump

Part Number	
DS 402 with 1 phase worldwide motor*	9499330
DS 402 with 3 phase worldwide motor**	9499331

* 1 phase motors (100-120 / 200-240) V ±10%, 50/60 Hz.

** 3 phase motors (200-220 / 380-415) V ±10% at 50 Hz or (200-230 / 460) V ±10% at 60 Hz.

All motors comply with CE and UL/CSA standards.

Minor Maintenance Kit

Part Number	
Contains all the valves, O-rings and seals to refurbish the pump to vacuum integrity	9499371

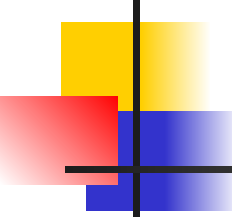
Major Maintenance Kit

Part Number	
Includes all the items of the minor kit plus the vanes	9499382

Oil and Accessories

Part Number	
Rotary vane fluid, GP type, 1 liter	9499390
Rotary vane fluid, GP type, 1 liter (USA)*	K7516301
Rotary vane fluid, GP type, 2 liters	9499391
Rotary vane fluid, GP type, 1 gallon (USA)	K7516302
Oil mist eliminator	9499395
Oil mist replacement cartridge (pkg. of 2)	9499394
NW 25 oil exhaust filter	9499392
NW 25 oil exhaust replacement cartridge	9499342
Oil return kit	9499376
Oil drain extension	9499375
European plug power cable 2 meters 1 ph	9499396
USA plug power cable 2 meters 1 ph	9499397
UK plug power cable 2 meters 1 ph	9499398
NW 25 centering ring Viton	KC25AV
NW 25 aluminum clamp	KQ25AWP

* When these pumps are used in Leak Detectors applications, we recommend the use of Rotary Vane Fluid (Elite-Z mechanical), P/N 695409005 as it features a lower vapor pressure.



Безмаслянные спиральные насосы Varian Vacuum Technologies



Принцип действия спирального насос основан на сжатие воздуха в спиральном блоке, где установлены две спирали – технология TriScroll™. Одна из спиралей жестко закреплена и лишена возможности перемещения. Вторая спираль установлена со сдвигом фаз и движется относительно первой спирали по орбитальной траектории, при этом между спиралями образуются воздушные полости в которые и попадает воздух.

Наличие нескольких полостей предотвращает процесс перетекания газа из одной полости в другую, так как разница давлений в соседних полостях невысокая. По мере движения подвижной спирали объемы рабочих ячеек уменьшаются, за счет чего и происходит сжатие воздуха.

За счет этого насос хорошо динамически сбалансирован, а следовательно вибраций и шума будет крайне мало.

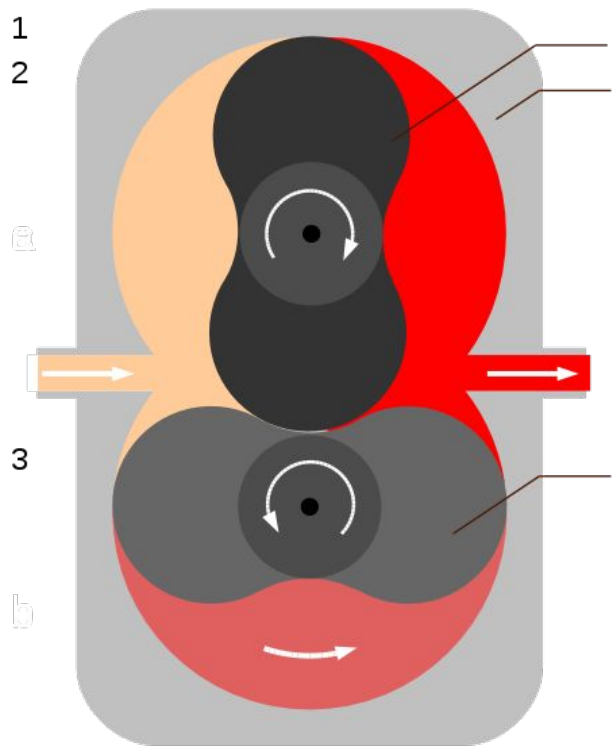


Технические характеристики вакуумных насосов серии TriScroll



	SH-110	PTS 300	PTS 600
Откачка воздуха при атм. давлении, л/мин	110	250	500
Скорость откачки, л/мин	90	210	420
Остаточное давление, торр	5.0×10^{-2}	$\leq 10^{-2}$ торр	7×10^{-3}
Входное присоединение	NW25	NW25 с приемным фильтром	NW40 с приемным фильтром
Мощность двигателя:			
1 фазного	0.19 кВт	0,56 кВт	0,75 кВт
3 фазного		0,56 кВт	0,56 кВт
Внешняя температура при эксплуатации	5 – 40 °C	5 – 40 °C	5 – 40 °C
Уровень шума, ДБ	56	68	68
Вес, кг	19,4	26,4	32

Двухроторные насосы

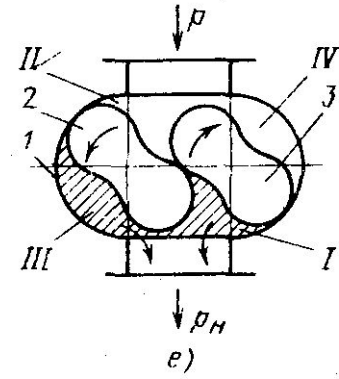
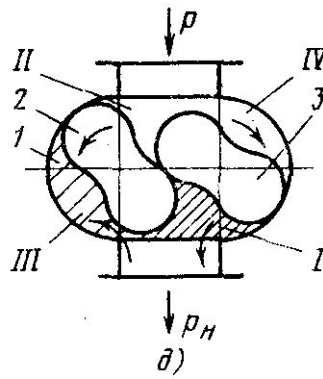
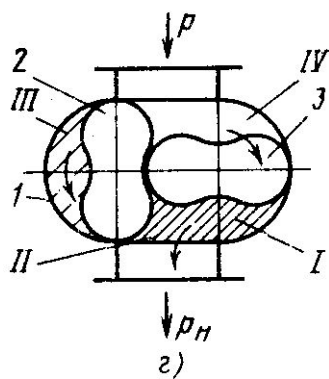
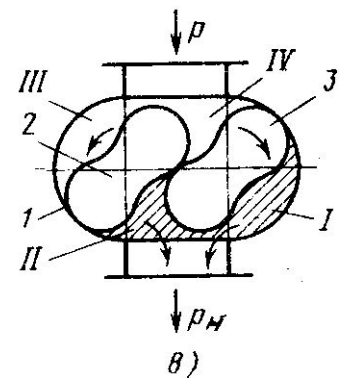
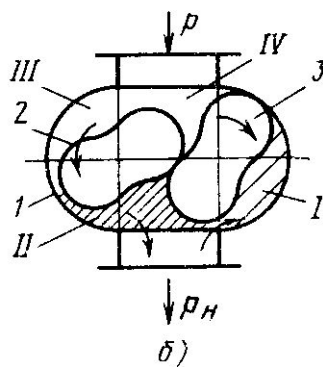
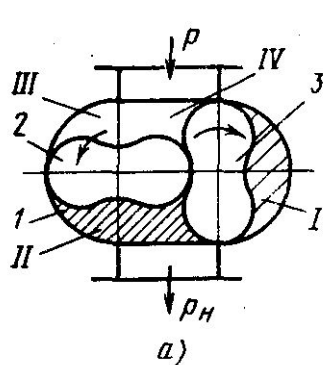


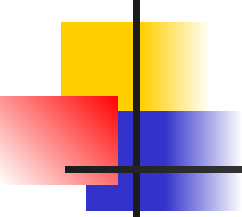
Насосы данного типа состоят из корпуса, в котором вращаются два одинаковых по профилю ротора, двух торцовых крышек, подшипников, синхронизирующей передачи и сальников.

Откачка и сжатие газа происходят вследствие заполнения газом образуемой в вакуумном насосе рабочей камеры, которая переносится без сжатия из полости всасывания в полость нагнетания.

После сообщения рабочей камеры с нагнетанием давление в ней возрастает за счёт газа, перетекающего из нагнетательного окна.

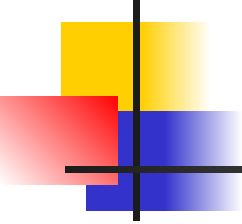
Схема работы двухроторного насоса





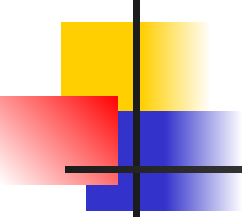
Достоинства двухроторных насосов

- нет трения между роторами;
- в полости сжатия смазочный материал не подается;
- допускается откачка любых газов;
- хорошая уравновешенность и динамическая сбалансированность роторов позволяет работать на высоких частотах, что позволяет получать высокие скорости откачки при небольших габаритах;
- простота конструкции и технологичность;
- способность выдерживать ударные разгерметизации;
- остаточное давление до 0,5 Па
- не требуют водяного охлаждения.



Недостатки двухроторных насосов

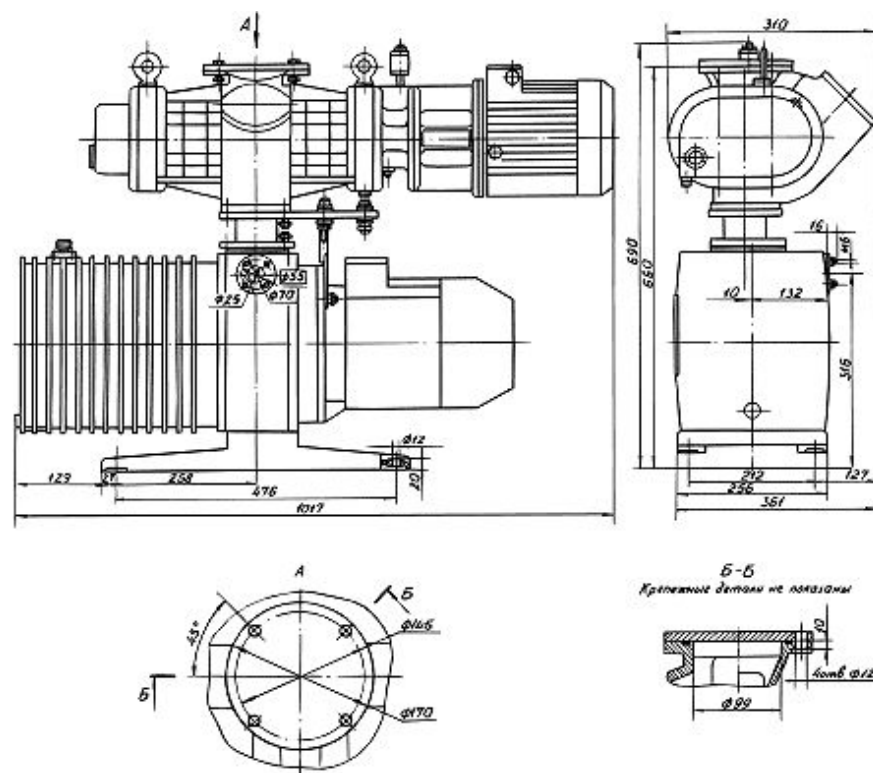
- процесс внешнего сжатия неэкономичен, поэтому двухроторные насосы применяются при небольших перепадах давления или при давлениях всасывания 1,3 -130 Па;
- относительно большие перетекания газа из полости нагнетания в полость всасывания из-за зазоров между роторами, а также между роторами и корпусом препятствуют получению низкого давления;
- большой уровень шума при работе.

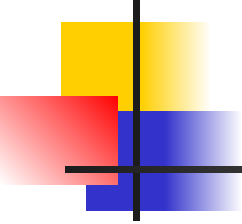


Применение двухроторных насосов

Применяются совместно с форвакуумными насосами в виде агрегатов (АВР-50 и АВР -150) для:

- откачки люминесцентных ламп;
- электронно-лучевой сварки;
- в установках нанесения покрытий;
- откачки вакуумных печей и т.п.





Молекулярная откачка

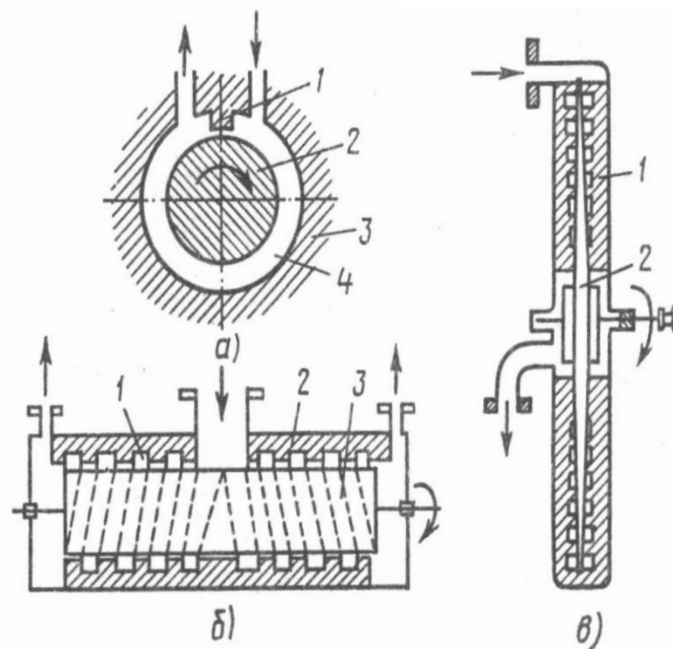
Вакуумный насос, действие которого основано на сообщении молекулам откачиваемого газа дополнительной скорости при соударении их с быстро вращающимся (частота вращения до 90 тыс. об/мин) ротором.

Различают молекулярные насосы с одинаковым направлением движения газа и стенки канала имеют много конструктивных разновидностей :

- цилиндрические,
- дисковые,
- конические и др.

Остаточное давление от 10 до 10^{-9} Па.

Молекулярный насос

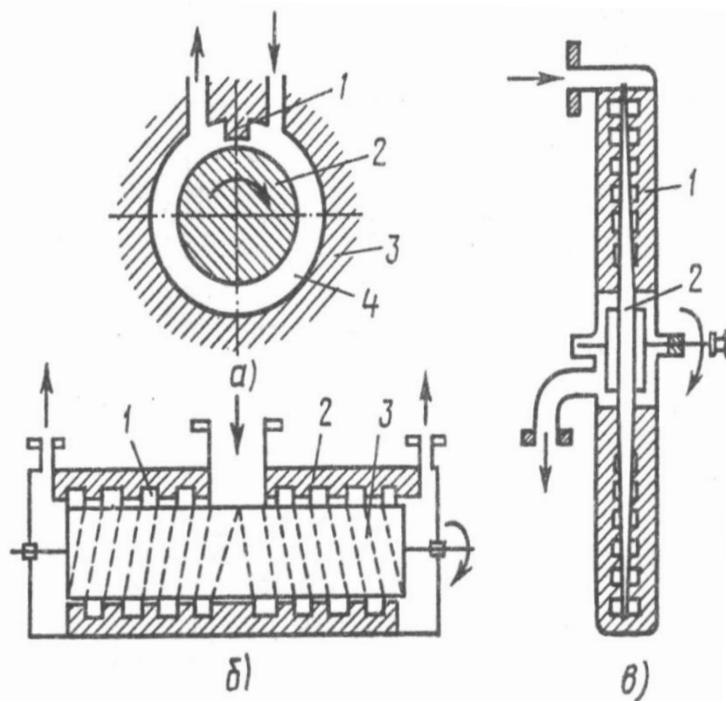


Цилиндрический насос а) имеет в статоре 3 набор цилиндрических канавок 4, входные и выходные отверстия в которых разделены перегородкой 1.

Ротор 2 вращается с большой частотой так, что его линейная скорость близка к тепловой скорости молекул.

Спиральный паз на поверхности статора 2 и цилиндрическая поверхность ротора 3 образуют рабочий канал б).

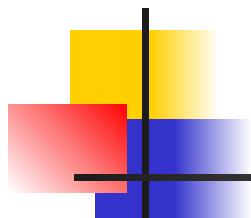
Молекулярный насос



Спиральные канавки на торцевых поверхностях статора 1, отстоящие на минимальном расстоянии от вращающегося диска 2, используются для молекулярной откачки в схеме в).

Через зазор между статором и ротором происходит возврат газа из камеры сжатия в камеру всасывания, что ухудшает реальные характеристики насосов.

Нормальная работа таких насосов возможна при зазоре между ротором и статором не превышающем 0.1 мм.



Практическое применение такие насосы нашли в качестве ступеней высокого давления при совместной работе с насосами, имеющими взаимно перпендикулярное перемещение газа и рабочих поверхностей, а также при откачке газов с большой молекулярной массой.

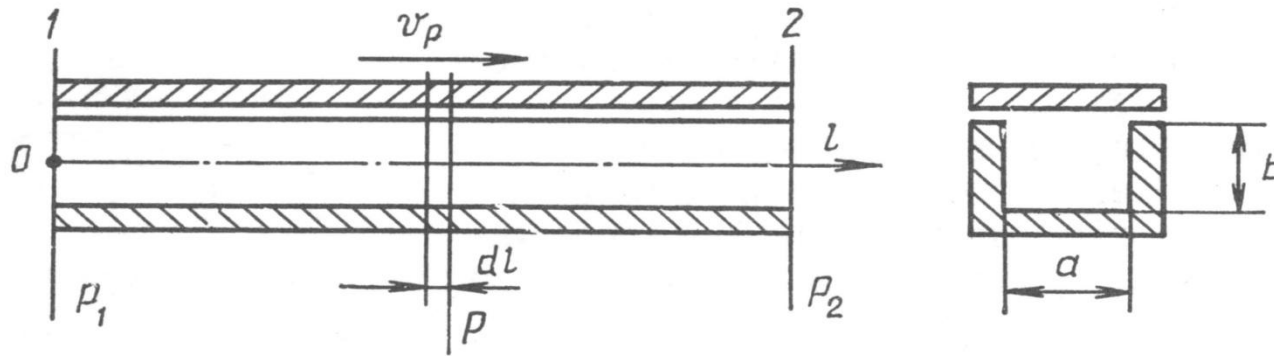
Проникновение паров масел, применяемых для смазки подшипниковых узлов, в откачиваемый объект во время работы насоса очень мало, но сильно возрастает при остановке насоса.

Быстрота действия насосов прямо пропорциональна частоте вращения ротора, которая в современных насосах может достигать 10 - 40 тыс. оборотов в минуту.

Максимальная быстрота действия обычно не превышает 100 л/с из-за малого поперечного сечения каналов.

Предельное давление 10^{-5} Па при коэффициентах компрессии $10^5 - 10^6$.

Принцип молекулярной откачки



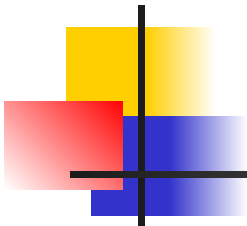
Создается перепад давлений $p_2 > p_1$ максимальная быстрота действия пропорциональна скорости:

$$S_{max} = \gamma F_k v_p$$

F_k - площадь поперечного сечения канала,

γ - коэффициент, учитывающий соотношения движущейся и неподвижной частей периметра канала.

Насос обеспечивает получение больших коэффициентов компрессия при малых скоростях откачки (10^{10}).



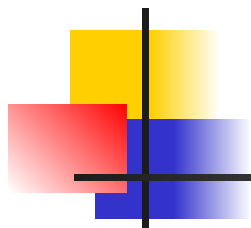
Молекулярные насосы с взаимно **перпендикулярным** движением рабочих поверхностей и потока откачиваемого газа получили широкое распространение.

Конструкция **турбомолекулярного насоса**, использующая этот принцип, во многом определяется расположением вала ротора:

- горизонтальным,
- вертикальным устройством

Формой рабочих органов:

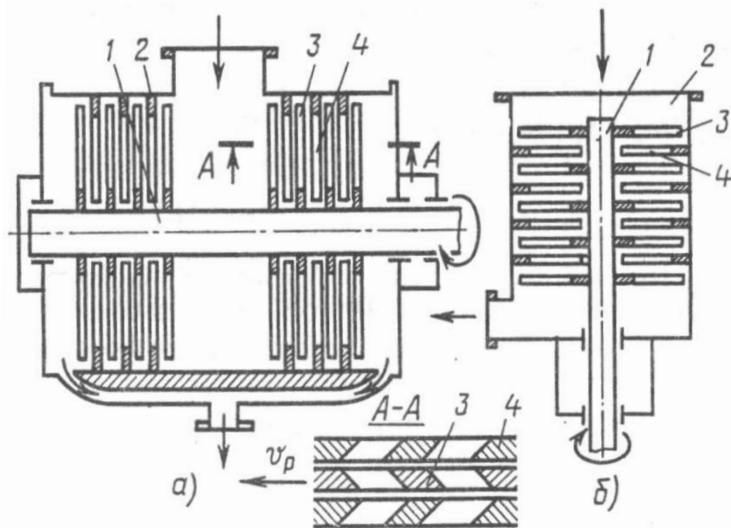
- цилиндровые,
- конусные,
- дисковые с радиальным потоком,
- дисковые с осевым потоком,
- барабанные.



Большое влияние на характеристики насоса оказывает конструкция опорных узлов:

- на смазываемых подшипниках качения,
- на магнитных опорах,
- газовой подушке.

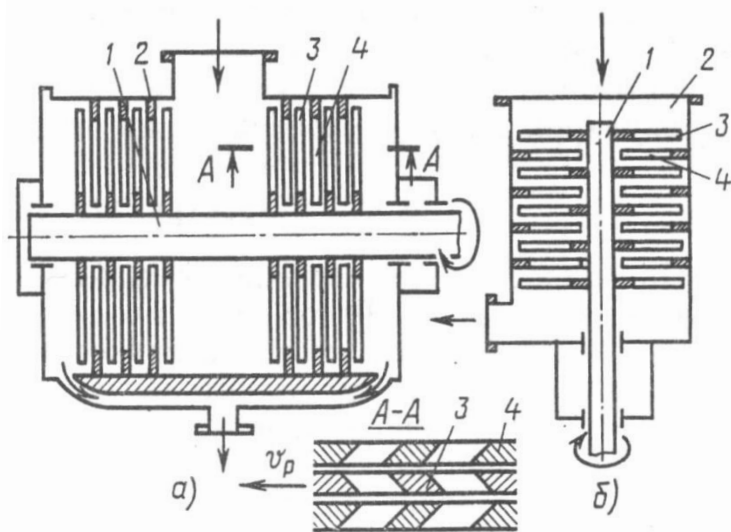
Турбомолекулярный насос



В корпусе 2 горизонтального насоса установлены неподвижные статорные лопатки 4, между которыми вращаются лопатки 3, закрепленные на роторе. Роторные лопатки выполняются в виде дисков с прорезями. В статорных колесах имеются зеркально расположенные прорези такой же формы. Для удобства монтажа статорные лопатки разрезаются по диаметру.

При горизонтальном положении ротора движение газа в насосе после входа во всасывающий патрубок разветвляется на два потока, которые соединяются в выпускном патрубке.

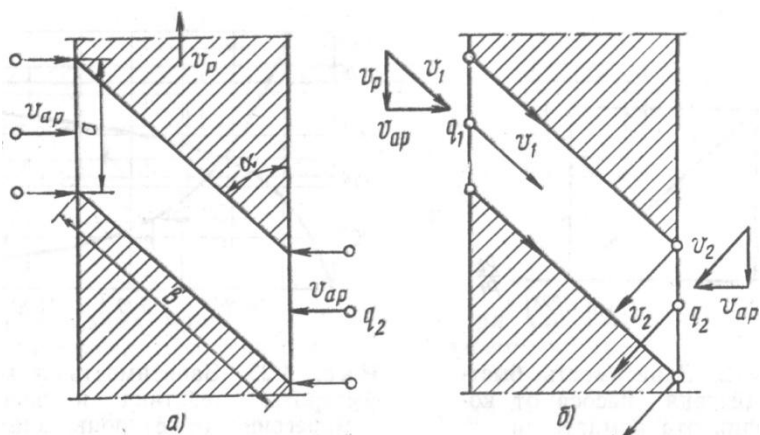
Турбомолекулярный насос



В связи с малыми коэффициентами компрессии каждой ступени в турбомолекулярном насосе можно увеличить рабочие зазоры.

При диаметре рабочих колес 200 мм осевой (между колесами) в радиальный (между корпусом и роторным колесом или ротором и статорным колесом) зазоры могут составлять 1 - 1.2 мм, что позволяет значительно повысить надежность их работы. Увеличение зазоров, снижая коэффициент компрессии насоса, слабо влияет на его быстроту действия.

Принцип турбомолекулярного насоса



Для установившегося режима течения газа

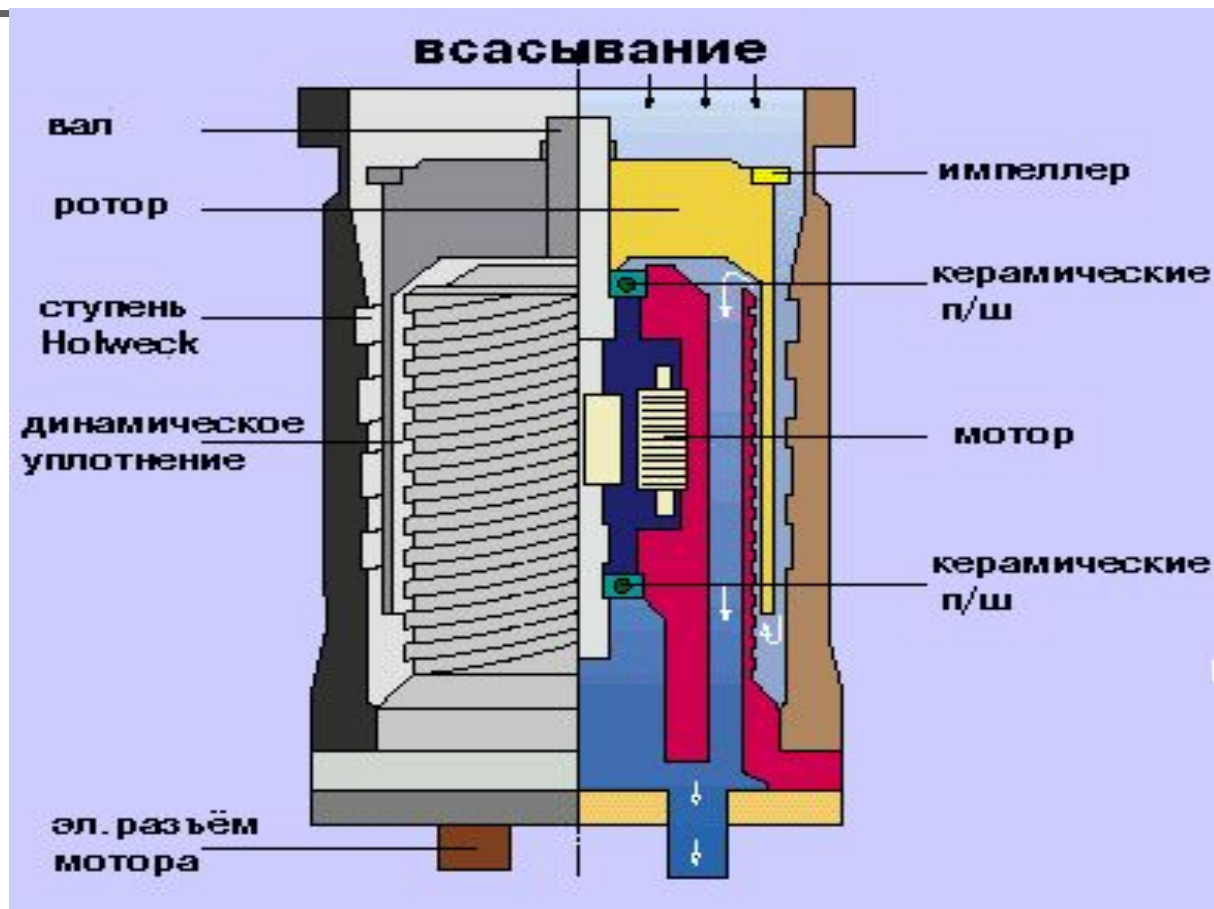
$$Q = U_{12}p_1 - U_{21}p_2,$$

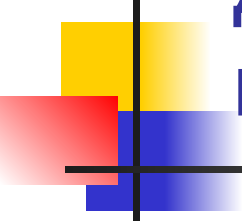
U_{12} и U_{21} проводимости каналов для потоков q_1 и q_2 соответственно.

Принцип перехода молекул газа через вращающееся рабочее колесо основан на различии сопротивлений межлопаточных каналов, образованных двумя соседними лопатками или стенками паза, потокам газа с противоположных сторон.

Угол наклона выбирается так, что вероятность перехода молекул в сторону откачки выше, чем отражение назад для вращающихся дисков и наоборот для неподвижных.

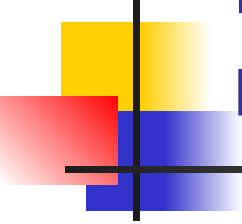
Турбомолекулярные насос MDP5011





Достоинства турбомолекулярных насосов:

- Большой диаметр входного отверстия,
- Получение высокого безмасляного вакуума;
- Производят удаление, а не адсорбцию воздуха;
- Имеют высокую быстроту откачки газов с малой молекулярной массой;
- Быстрый запуск и остановка.



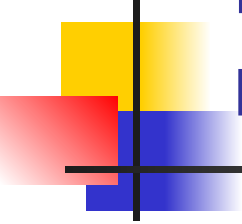
Недостатки турбомолекулярных насосов:

- наличие высокоскоростного ротора со смазыванием быстроизнашивающихся подшипников;
- сложные системы подвеса ротора;
- наличие преобразователя напряжения для питания высокооборотного электродвигателя;
- сложность изготовления и относительно высокая цена.

Области применения турбомолекулярных насосов:

- Масс-спектрометрия
- Электронная микроскопия
- Физика поверхности и газовый анализ
- Течеискание
- Ускорители элементарных частиц
- Ядерные исследования
- Производство электровакуумных приборов
- Производство полупроводников





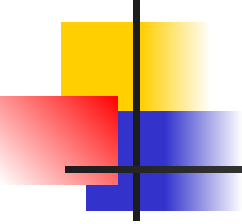
Производители турбомолекулярных насосов:

- ООО «Призма», Новосибирская обл., г. Искитим
<http://www.ooo-prizma.ru/Indexgl.htm>
- Ilmvac GmbH, Германия
http://www.tako-vakuum.ru/pumpen_turbomolekular_01.php#punkt_STP
- CCS Services, Швейцария
<http://www.ccsservices.ru/Vacuum/Vacuum2.html>

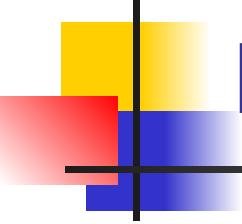
Техническая характеристика	НВТ-100-041	НВТ-100-042	НВТ-450-01	НВТ-1000-029	01 АБ-1500-004
Быстрота действия по воздуху (в диапазоне давлений 6,33*10 ⁻⁴ - 1,33*10 ⁻² Па), л/с	100	100	400	1000	720
Предельное остаточное давление на входе (при давлении на выходе не более 1,33 Па), Па	1,0*10 ⁻⁵	6,6*10 ⁻⁷	1,0*10 ⁻⁵	1,0*10 ⁻⁵	6,6*10 ⁻⁷
Время разгона, мин	5	5	6	20	20
Частота вращения, об/мин	30 000	30 000	24 000	21 000	21 000
Максимальная потребляемая мощность, В*А	100	100	1200	1200	1500
Габаритные размеры, мм*	140x140x175	152x152x195	250*250*265	320x320x280	420x420x430
Масса, кг*	5,5	7,5	25	30	58
Рекомендуемый форвакуумный насос	3НВР-1Д,	3НВР-1Д,	2НВР-5ДМ	2НВР-5ДМ	НВР-16Д

Внешний вид турбомолекулярных насосов
производства ООО «Призма» (слева)
и Ilmvac GmbH (справа):





1.4. Струйные вакуумные насосы



Пароструйная откачка

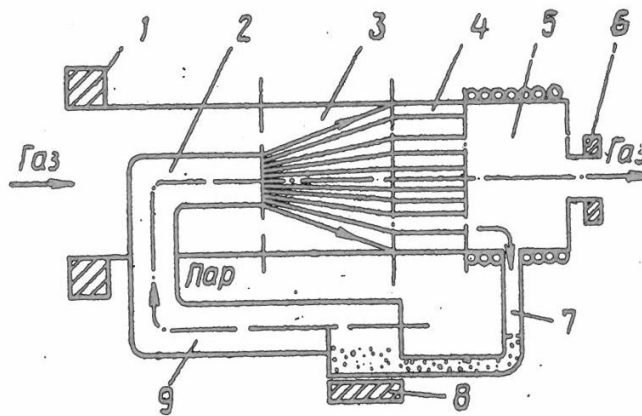
Взаимодействие откачиваемого газа с паровой струей зависит от **степени вакуума.**

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

В области высокого вакуума все молекулы откачиваемого газа, перемещаясь за счет самодиффузии, непосредственно взаимодействуют с движущейся струей пара, а насосы, работающие в таких условиях, называют **диффузионными**.

Быстрота действия насоса зависит от производительности сопла и свойств рабочего пара. В эжекторных насосах она лежит в диапазоне от нескольких десятков до нескольких тысяч литров в секунду.

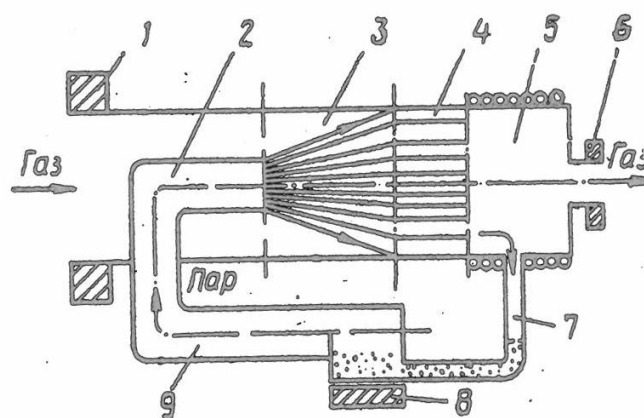
Пароструйная откачка



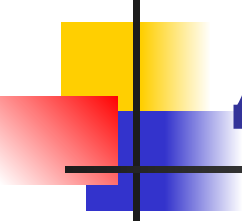
При пароструйной откачке молекулы откачиваемого газа, поступающие в насос через входной патрубок 1, взаимодействуют со струёй пара, имеющего звуковую и сверхзвуковую скорость, и приобретают дополнительную скорость в направлении насоса предварительного разряжения, присоединяемого к выходному патрубку 6.

В камере 3 происходит смешение паровой струи, выходящей из сопла 2, и откачиваемого газа. Запирающий канал 4 создаёт сопротивление обратному потоку газа, обеспечивая коэффициент компрессии насоса.

Схема пароструйного (эжекторного) насоса



Разделение откачиваемого газа и рабочего пара осуществляется в камере 5 в процессе конденсации рабочего пара на охлажденных поверхностях, после чего откачиваемый газ выходит из насоса через выходной патрубок, а сконденсировавшийся пар поступает по трубопроводу 7 в кипятильник 8, где вновь испаряется и по паропроводу 9 попадает в рабочее сопло 2, обеспечивая непрерывность процесса откачки.



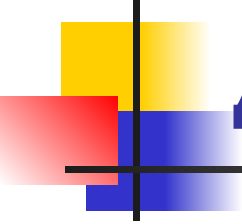
Диффузионная откачка

При истечении струи пара в высокий вакуум происходит ее расширение за счет тепловых скоростей молекул.

В случае равенства скорости истечения струи и скорости звука она выходит из сопла под углом 45° к его оси. Давление пара в струе значительно больше, чем давление откачиваемого газа.

Наилучшие условия для захвата молекул откачиваемого газа обеспечиваются тогда, когда давление пара в струе соответствует среднему вакууму.

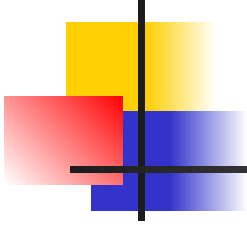
При этом все молекулы откачиваемого газа проникают в паровую струю при первом соударении. При большей плотности паровой струи вероятность захвата молекул снижается.



Диффузионная откачка

Теоретическая быстрота действия диффузионного насоса в связи с малым количеством откачиваемого пара определяется не изменением термодинамических характеристик паровой струи, как в случае эжекторного насоса, а геометрическими размерами сопла и парциальным давлением откачиваемого газа в паровой струе.

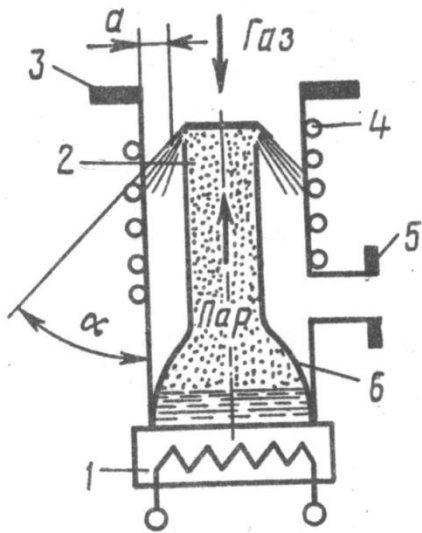
Максимальное **выпускное давление** не может быть больше давления рабочего пара в кипятильнике насоса, поэтому в случае паромасляного насоса оно не превышает $(1-5) \cdot 10^2$ Па, для парортутного - $(20-40) \cdot 10^2$ Па.. Увеличить максимальное выпускное давление паромасляного насоса нельзя, так как температура пара в кипятильнике ограничивается температурой разложения масла.



В парортутных насосах принципиально возможно повышение максимального выпускного давления вплоть до атмосферного, но из-за больших потерь и токсичности ртути этого обычно не делают.

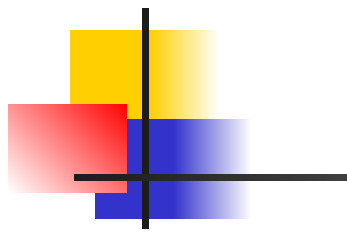
Предельным **остаточным давлением** эжекторного насоса является давление перехода из среднего в высокий вакуум, когда происходит расширение паровой струи и нарушение оптимального режима работы. Величина предельного давления составляет 10^{-1} - 10^{-2} Па.

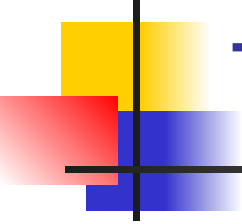
Диффузионный насос



Диффузионный насос состоит из кипятильника 1, диффузионного сопла 2, закрепленного на паропроводе 6, холодильника 4, впускного и выпускного патрубков 3 и 5. Пары рабочей жидкости проходят по паропроводу через зонтичное сопло и конденсируются на стенках насоса, охлаждаемых холодильником. За время движения пара от конца сопла до стенок насоса в струю пара диффундирует откачиваемый газ.

После конденсации образовавшейся парогазовой смеси выделившийся газ откачивается через выпускной патрубок насосом предварительного разрежения, а сконденсированный пар стекает по стенкам насоса в кипятильник через зазор между паропроводом и корпусом насоса.





Требования к рабочей жидкости:

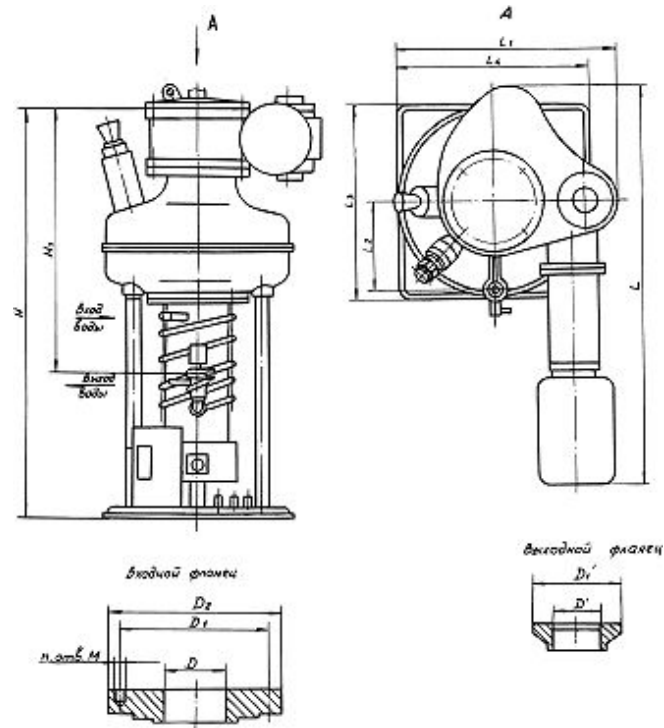
- минимальная упругость паров (наименьшее предельное давление)
- стойкость к разложению,
- минимальная способность растворять газа,
- химическая стойкость,
- малая теплота парообразования.

Обычно используются:

- ртуть,
- минеральные масла (чаще всего ВМ-1, ВМ-5),
- синтетические масла («алкорен»),
- сложные эфиры;
- кремнийорганические жидкости.

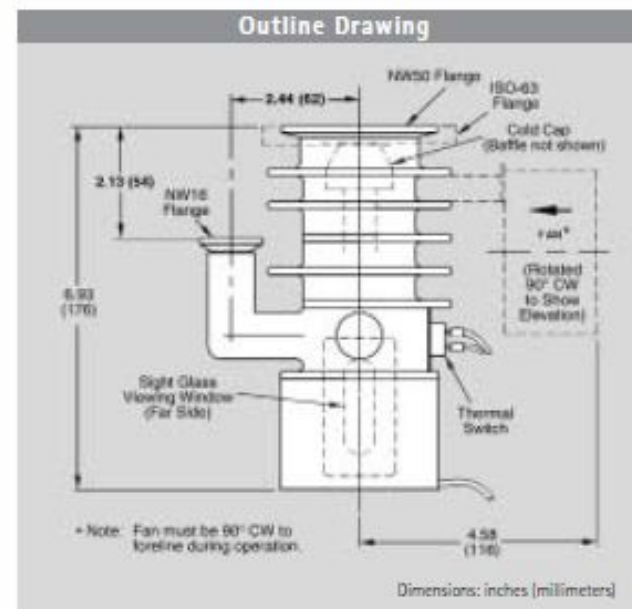
Параметры агрегатов на основе диффузионных насосов (<http://vacsta.ru>):

Показатель	АВДМ-100	АВДМ-160	АВДМ-250	АВДМ-400	АВДМ-630
Быстрота действия в диапазоне рабочих давлений от $6,6 \times 10^{-4}$ до $1,3 \times 10^{-1}$ Па	130	310	870	2280	5750
Предельное остаточное давление, Па (мм рт.ст.), не более при температуре окружающего воздуха: от 10 до 25°C включит. св. 25 до 45°C включит.	$6,6 \times 10^{-5}$ (5×10^{-7}) $6,6 \times 10^{-4}$ (5×10^{-6})				
Наибольшее выпускное давление, Па (мм рт.ст.), не менее	35 (0,263)	33,3 (0,25)	33,3 (0,25)	33,3 (0,25)	33,3 (0,25)
Потребляемая мощность при номинальном напряжении, Вт	563	900	2100	4200	9500
Мощность нагревателя, Вт	500	800	2000	4000	9000
Масса, кг, не более*	40	65	140	294	870



Агрегат представляет собой конструкцию, состоящую из диффузионного паромаслянного насоса, азотной ловушки, вакуумного затвора, рамы (для АВДМ-250, АВДМ-400 и АВДМ-630) или плиты (для АВДМ-100 и АВДМ-160) и термореле.

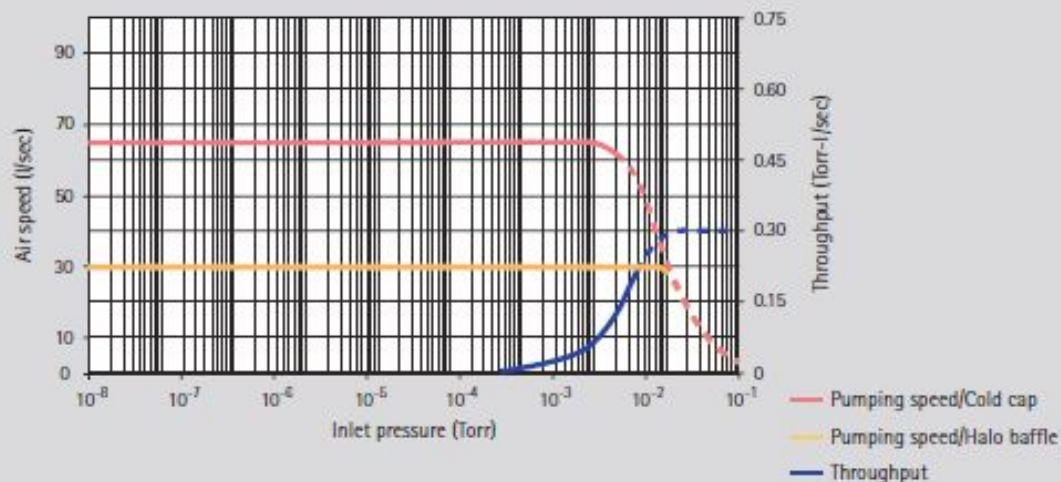




Technical Specifications

Pumping Speed*, Operating Range	65 l/sec Air, 90 l/s He and H ₂
Maximum Throughput	0.19T-l/s (0.25 mbar-l/s) in operating range 0.30T-l/s (0.40 mbar-l/s) @ 0.01 torr
Compression Ratio	4 x 10 ⁷ (Air), 2 x 10 ⁶ (helium)
Operating Range	3 x 10 ⁻³ to <5 x 10 ⁻⁸ torr (3.9 x 10 ⁻³ to 6.5 x 10 ⁻⁸ mbar)
Maximum Forepressure	No load: 0.75 torr (1.00 mbar) Full Load: 0.60 torr (0.78 mbar)
Backstreaming Rate*	With cold cap: < 2 x 10 ⁻⁴ mg/cm ² /min With baffle: < 2 x 10 ⁻⁵ mg/cm ² /min
Recommended Backing Pump	≥ 1.5 cfm (2.5 m ³ /hr)
Warmup Time	7 minutes
Cooldown Time	10 minutes
Fluid Charge	30 cc
Electrical Requirements	1 ph, 50/60 Hz, 90/115/165/220 VAC
Pump Power	200/250 watts
Air Cooling	30 cfm

Speed Curve

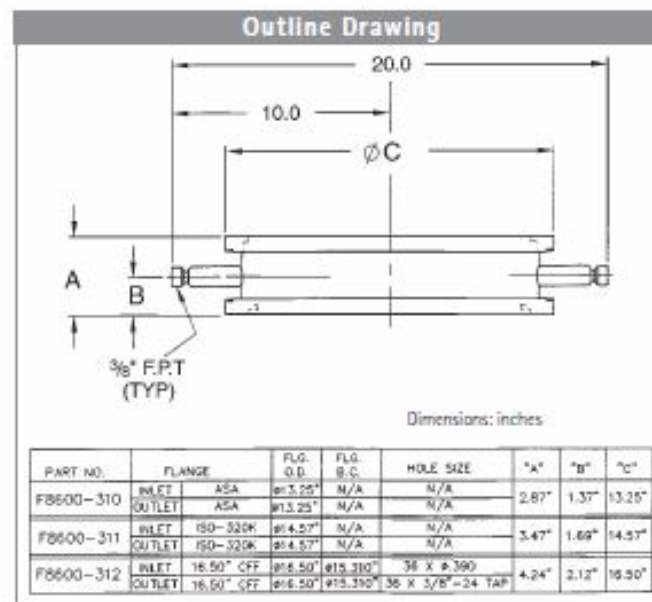


Ordering Information

Description	Wt. kg (lbs)	Part Number KF-50	Part Number ISO-6
3KAX-65 with standard cold cap, 115 V, 250 W	3.6 (8.0)	L9670301	L9707301
AX-65 with internal baffle, 115 V, 250 W	3.6 (8.0)	L9670311	L9707311
AX-65 with standard cold cap, 220 V, 250 W	3.6 (8.0)	L9670302	L9707302
AX-65 with internal baffle, 220 V, 250 W	3.6 (8.0)	L9670312	L9707312
AX-65 with standard cold cap, 115 V, 200 W	3.6 (8.0)	L9670303	L9707303

Description	Wt. kg (lbs)	Part Number
Accessories		
Santovac 5 diffusion pump fluid, 40 cc	0.5 (1.0)	95405001
Santovac 5 diffusion pump fluid, 65 cc	0.9 (2.0)	695405002
DC-704 diffusion pump fluid, 500 cc	1.4 (3.0)	695474005
DC-705 diffusion pump fluid, 500 cc	1.4 (3.0)	695475005
Internal baffle kit	0.9 (2.0)	R1160065
Centering ring for inlet flange, NW50	0.5 (1.0)	KC50SB
Centering ring for inlet flange, ISO-63	0.2 (0.5)	IC063SV
Centering ring for foreline flange, NW16	0.2 (0.5)	KC16SB
Instruction manual		699901062

Water-Cooled Baffles



Technical Specifications

330 Water-Cooled

Nominal Conductance	3,550 l/s (air)
Recommended Flow	0.1 to 0.2 gpm (20-40 l/hr)

334 Water-Cooled

Nominal Conductance	900 l/s (air)
Recommended Flow	0.1 to 0.2 gpm (20-40 l/hr)

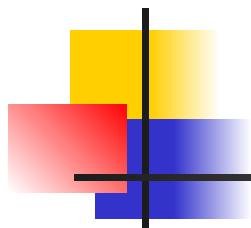
Ordering Information

Description

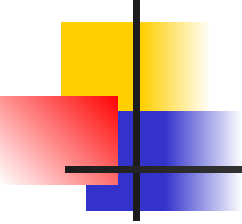
Weight
kg (lbs)

Part
Number

Low-profile 330 Water-cooled baffle - ASA	9.0 (20.0)	F8600310
Low-profile 330 Water-cooled baffle - ISO	9.0 (20.0)	F8600311
Low-profile 330 Water-cooled baffle - CFF	9.0 (20.0)	F8600312
334 Water-Cooled Baffle - ASA	4.5 (10.0)	F8286304
334 Water-Cooled Baffle - ISO	4.5 (10.0)	F8286305
334 Water-Cooled Baffle - CFF	4.5 (10.0)	F8286306



1.5. Физико-химические методы получения вакуума



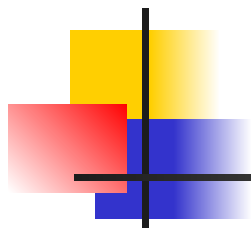
Электрофизические насосы всех типов являются накопительными, т. е. откачиваемые газы поглощаются в насосе в виде:

- хемосорбционных слоев,
- химических соединений,
- и «замурованных» атомов.

Диапазон давлений для этих насосов $1^{-1} - 10^{-12}$ Па.

Эффективность сорбции зависит от природы сорбента и газа.

Основной механизм связывания химически активных газов - **хемосорбция** - химическая сорбция, поглощение жидкостью или твёрдым телом веществ из окружающей среды, сопровождающееся образованием химических соединений.



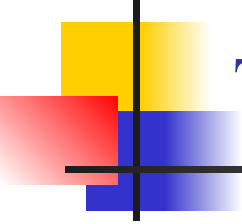
Инертные газы при НУ внедряются в поверхность твердого тела только в ионизированном состоянии при определенной энергии ионов.

Химически активная поверхность, поглощающая газы, может быть:

- Пористой структурой с высокоразвитой поверхностью,
- Однократным или периодическим нанесением пленки поглощающего материала,
- Непрерывным возобновлением поверхности.

Поглощение газов происходит химически активными металлами за счет химического взаимодействия и физической сорбции.

Физическая сорбция (за счет образования слабой физической связи) происходит при температуре близкой к температуре кипения сорбента (или **геттера**) или ниже при данном давлении, хемосорбция при более высоких температурах.

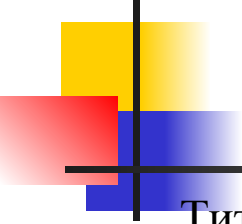


Требования к газопоглотителям:

- Универсальность хемосорбционных свойств по отношению к максимальному числу газов;
- Максимальная поглотительная способность – т.е. объем газов удерживаемых поглотителем;
- Малое давление паров газопоглотителя и давление диссоциации продуктов реакции;
- Устойчивость материала поглотителя на воздухе после прогрева в вакууме и высокая химическая активность;
- Легкое обезгаживание;
- малая цена.

Наиболее подходят: Ti, Zr, Ta, Ba, Mo, Hf, Er, лантаноиды, скандий, итрий.

По комплексу свойств наиболее подходит **титан**.



Титан, представляющий собой нейтральную пластину или электрод, эродирует при взаимодействии с ионами, образующихся под воздействием высокого напряжения.

Электрический потенциал, использующийся для ионизации, обычно находится в диапазоне от 3 кВ до 7 кВ.⁰С

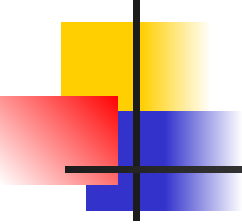
Молекулы газа бомбардируются высокоэнергетичными электронами, теряя один или несколько своих электронов, в результате становясь положительными ионами.

Под действием сильного электрического поля положительные ионы ускоряются, и бомбардируют титановый катод.

В результате соударений катод эродирует, распыляясь по стенкам насоса.

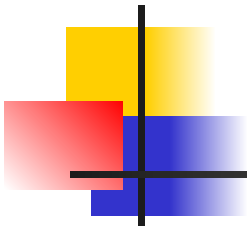
Свеженапыленный слой титана является сильным химическим реагентом, который вступает в реакцию с химически активными газами.

Соединение, образующееся в результате химической реакции, оседает на элементах и стенках насоса.



Химически активными являются газы: кислород, азот, оксид и диоксид углерода, вода. Благородные газы, такие как гелий, неон, аргон, криптон, ксенон, являются химически неактивными.

Они откачиваются методом «ионного захоронения», при котором инертные атомы «заштукатуриваются» распыленными атомами геттера.



Основные процессы при поглощении газов:

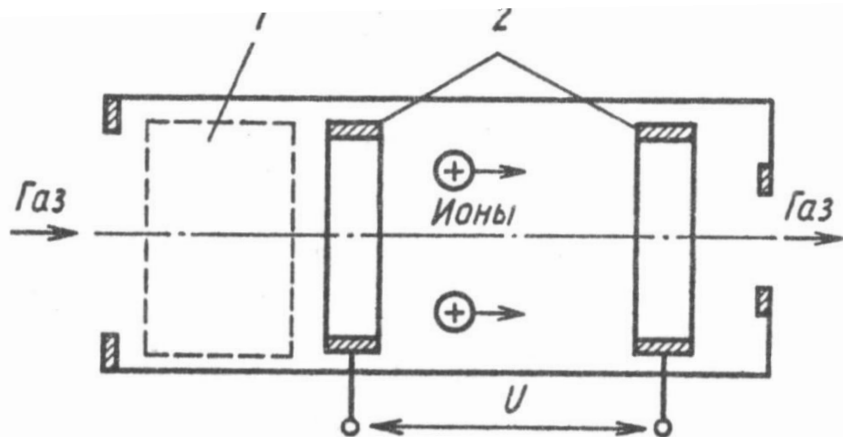
- сорбция,
- ионная откачка,
- «замуровывание» ионов.

Ионная откачка – это поглощение ионизированных молекул газа в результате внедрения ускоренных электрическим полем ионов в материал геттера с последующей диффузией.

Ионы химически активных газов образуют химические соединения, а ионы инертных газов – удерживаются в кристаллической решетке физическими связями.

При непрерывной ионной бомбардировке и высокой скорости распыления геттера часть ионов «замуровывается».

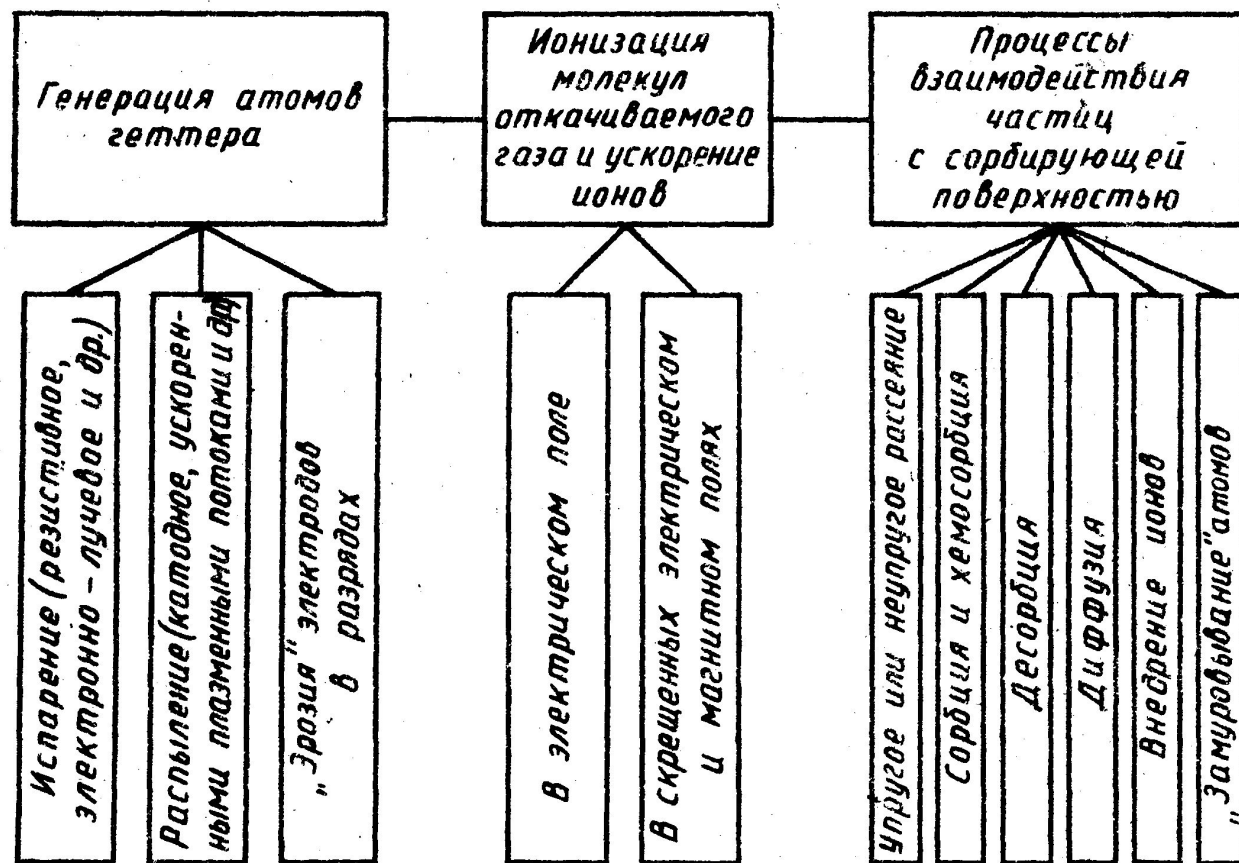
Ионная откачка

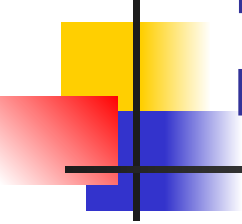


Наиболее эффективная ионная откачка осуществляется β -излучением.

Эффективность ионизации составляет электронами средних энергий прошедших разность потенциалов 100 В, в зависимости от рода газа составляет от 3 до 25 пар ионов на 1 м пути при давлении 1 Па.

Схема физических процессов поглощения газов электрофизическими средствами откачки

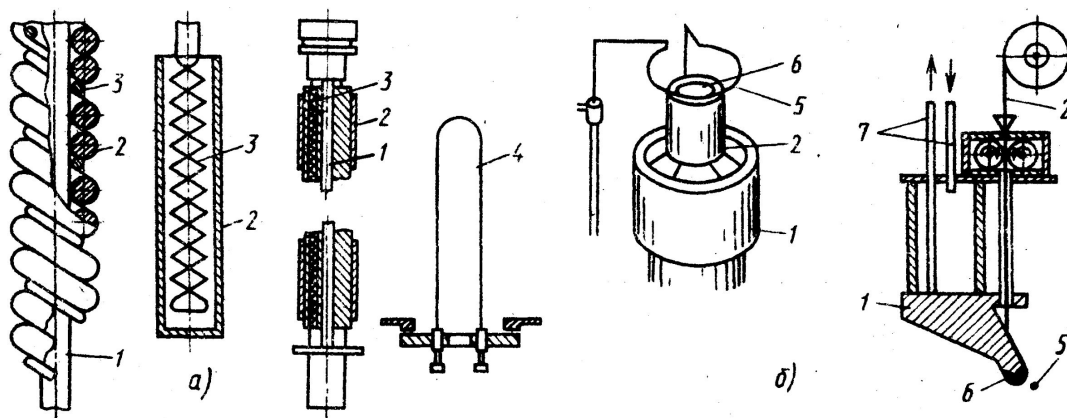




Методы нанесения геттера из паровой и плазменных фаз:

- Испарение резистивным или электронно-лучевым нагревом (насосы типа СТОН, НИБ, ОГИН);
- Распыление высокоэнергетичными ионами (насосы типа НМД);
- Электродуговое испарение (насосы типа НДМ).

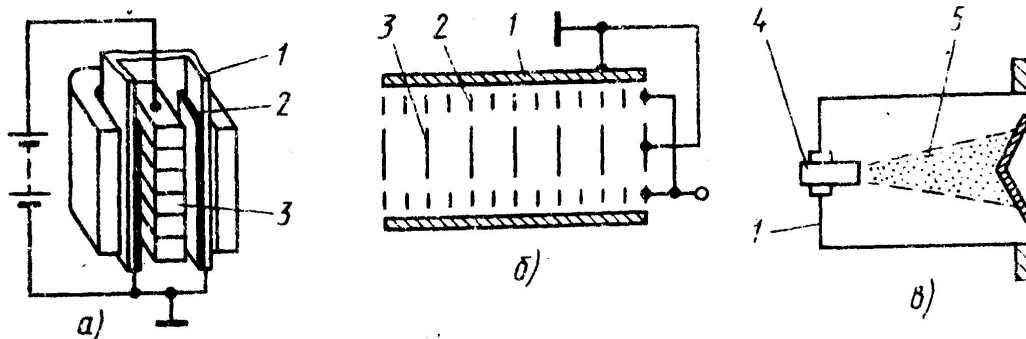
Испарительные геттеры



Производится нагрев геттера 2 до температуры близкой к плавлению а) – твердофазные и с образованием жидкой фазы б) посредством нагревателя 3 или пучком с катода 5.

Главный недостаток – наличие накаливаемых частей, что ограничивает ресурс и управление насосом.

Метод катодного распыления

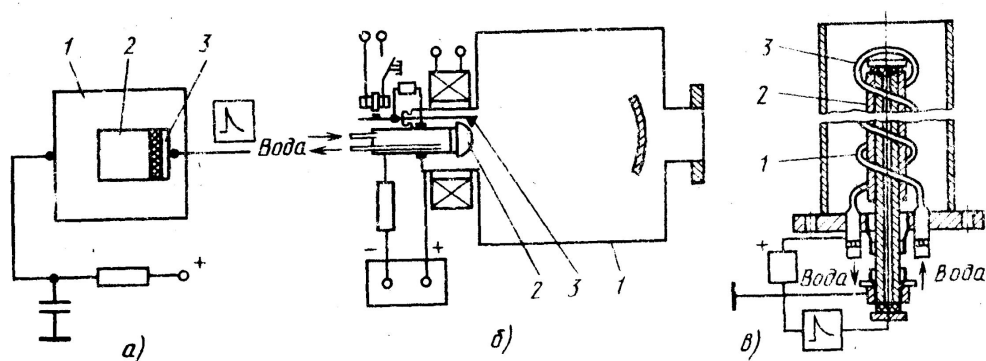


Метод катодного распыления основан на распылении атомов материала катода ионами высокой энергии, образуемых в плазме разряда, горящего в атмосфере откачиваемого разра. Различают системы: диодную а), триодную б) и ускоренный пучок в).

Достоинство – «холодные» электроды – высокий ресурс.

1- корпус, 2 – катод, 3 – анод, 4- ускоритель плазмы, 5 – поток плазмы.

Эрозионные плазменные испарители

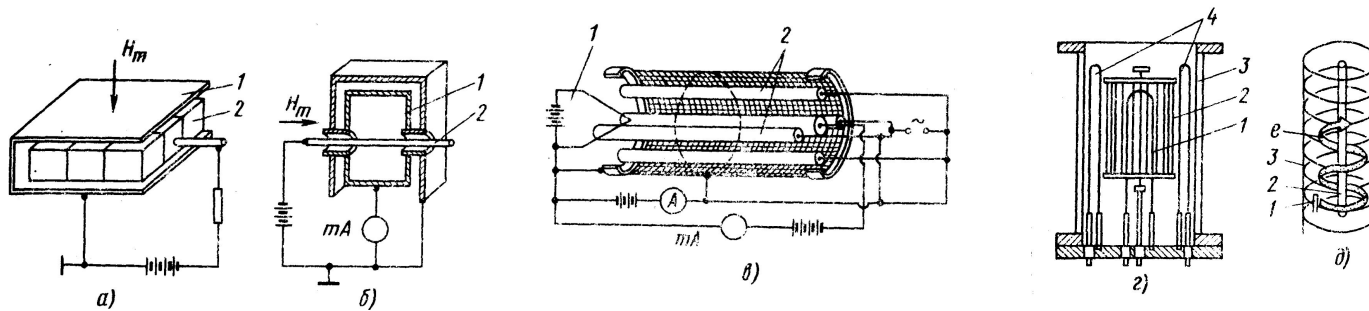


Для получения сорбирующих покрытий используют эрозию электродов в электрических разрядах: а) искровом, б) дуговом - постоянного и в) импульсного разряда.

Достоинство – искровых насосов – регулирование расхода геттера изменение частоты инициирующих импульсов. Дуговые разряды имеют высокий КПД – до 80%. Давление запуска достигает 10 Па.

1- анод, 2 –расходный катод, 3 – поджигающий электрод.

Ионизаторы

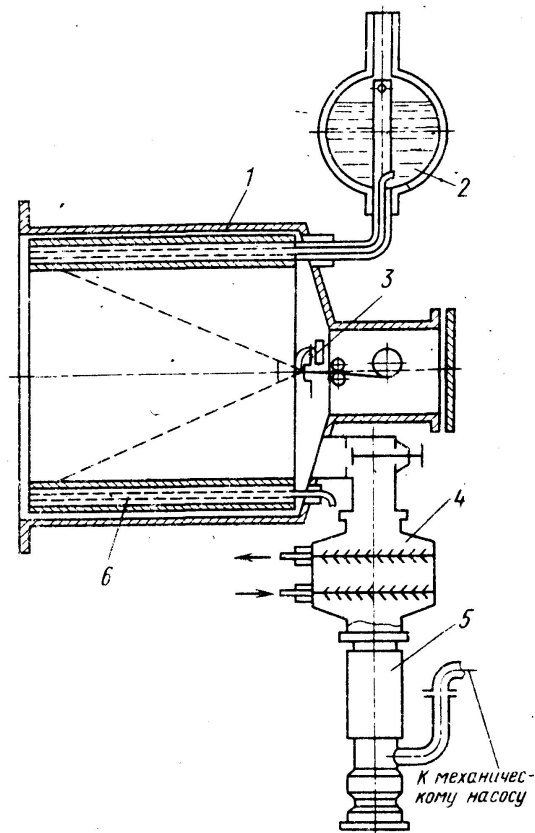


А) Ячейка Пеннинга, б) обращенный магнетрон, в) квадрупольный, г) с анодной сеткой, д) орбитронный.

1 — катод, 2 — анод, 3 — корпус, 4 — нагреватель.

В системах а-в удлинение пути электронов за счет движения в скрещенных полях, в системах г-д — за счет удлинения электродов.

Испарительные геттерные насосы типа СТОН



Испаряется титановая проволока электронным пучком и напыляется на криогенный вкладыш.

Жалюзи для защиты вакуумной камеры от геттера.

Скорость до $200 \text{ м}^3/\text{с}$, от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-9} \text{ Па}$ при охлаждении азотом.

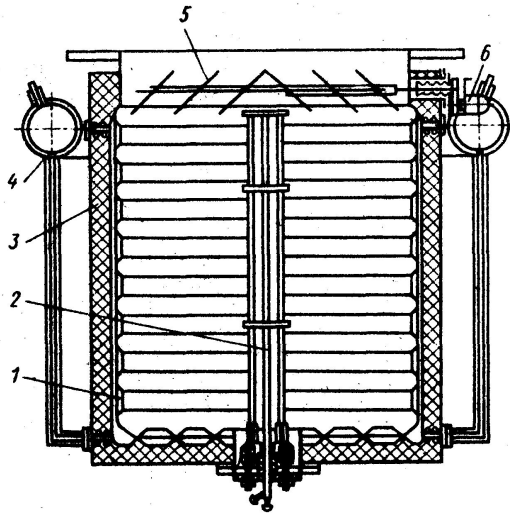
1 - корпус, 2 - сосуд Дьюара, 3 - электронно-лучевой жидкостный испаритель с системой подачи проволоки, 4 - ловушка, 5 - дифнасос, 6 - охлаждаемый вкладыш.

Недостатки:

ограниченный ресурс,

при высоком давлении происходит отравления пленками соединений.

Испарительные геттерные насосы типа НИБ



Испаряется титановая или биметаллическая проволока (титан на молибдене).

Жалюзи для защиты вакуумной камеры от геттера.

Скорость по H_2 до $200\text{ м}^3/\text{с}$,

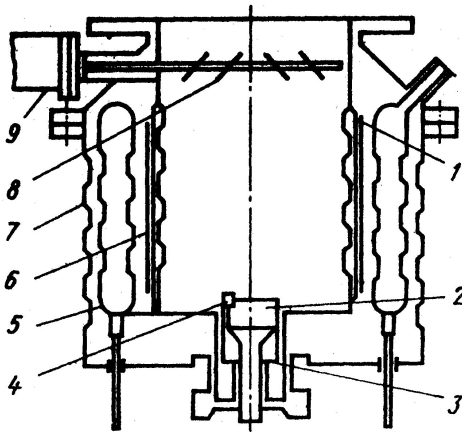
давление от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-9}$ Па при охлаждении азотом.

1 - корпус, 2 - блок испарителей, 3 - теплоизоляция, 4 — накопитель жидкого азота, 5 — поворотный экран-жалюзи, 6 привод жалюзей.

Недостатки:

- ограниченный ресурс,
- при высоком давлении происходит отравления пленками соединений.

Дуговые насосы типа НДМ



Дуговой разряд возбуждается плазмой по поверхности катода – испарителя.

Жалюзи для защиты вакуумной камеры от геттера.

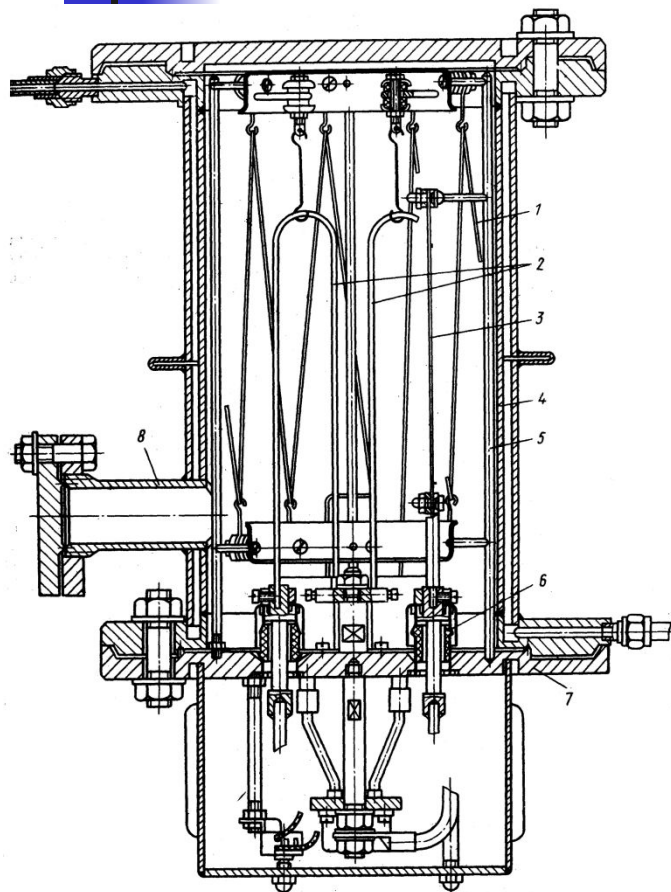
Скорость по H_2 до $200 \text{ м}^3/\text{с}$, давление от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-8}$ Па при охлаждении азотом.

1- корпус, 2- блок испарителей, 3- экран, 4 – поджигатель, 5-накопитель азота, 6 –нагреватель, 7- кожух, 8 – поворотный экран-жалюзи, 9 - привод жалюзей.

Недостатки:

- ограниченный ресурс катода,
- Все геттерные плохо качают инертные газы .

Геттерно-ионный насос типа ГИН



Кроме хемосорбции происходит ионизация газов, с последующим внедрением ускоренных ионов в поверхность распыленного геттера.

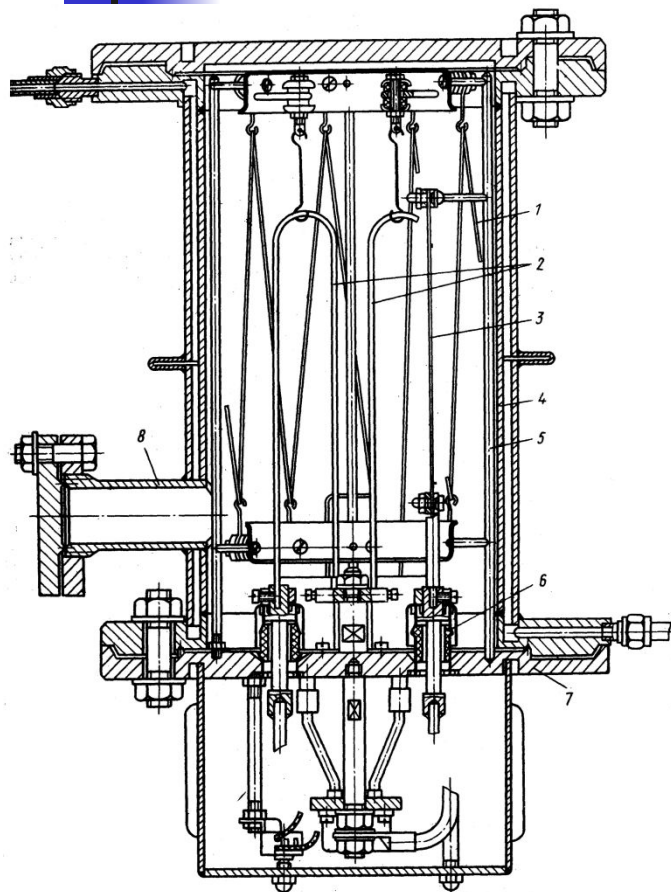
Ионизация и ускорение увеличивает и скорость откачки и объем поглощения геттера.

Функции испарения и ионизации разделены.

Испаритель резистивный – 2, а система ионизации состоит из сеточного анода 1 (1,2кВ) и катода 3.

Электроны с катода и испарителя колеблются вокруг сетки и эффективно ионизуют остаточный газ.

Геттерно-ионный насос типа ГИН



Скорость по H_2 до $20\text{ м}^3/\text{с}$,
давление от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-9}$ Па при охлаждении
азотом.

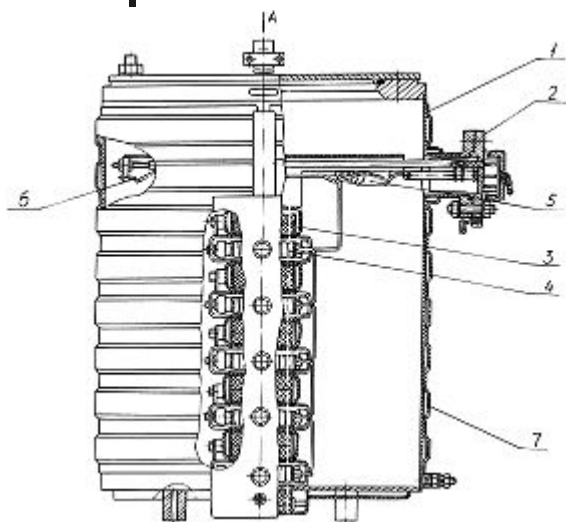
1- анод, 2- испаритель, 3- катод, 4 – корпус, 5 –
каркас, 6 - токоввод.

Недостатки:

- ограниченный ресурс по титану,
- чувствительность к разгерметизации.

Имеются миниатюрные насосы типа НГ для
поддержания высокого вакуума.

Электроразрядные геттерно-ионные насосы типа ЭГИН (<http://vacma.ru>):

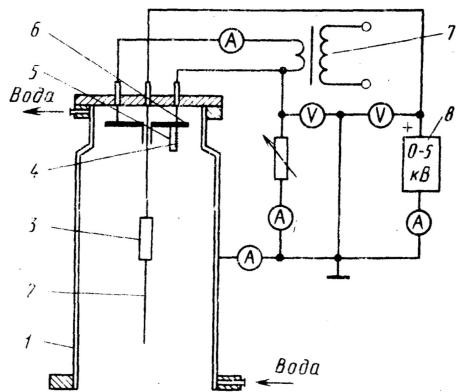


Откачка в насосе основана на удалении частиц газа в результате взаимодействия основных процессов: ионизации и катодного распыления посредством тлеющего разряда в магнитном поле, внедрения и замуровывания ионов в катодах, хемосорбции газов пленками напыляемого геттера.

Скорость по воздуху до $10\,000\text{ л}^3/\text{с}$,
давление от 6 до $6 \cdot 10^{-8}\text{ Па}$

1 - корпус, 2 - узел испарителей, 3 - магнитный блок, 4 - электродный блок, 5 - высоковольтный блок, 6 - испаритель, 7 - рубашка водяного охлаждения

Орбитальный геттерно-ионный насос типа ОГИН



Эмитируемые нитью накала электроны вращаются вокруг анода, ионизируя газ. Часть попадает на геттер и испаряет его. Титан осаждается на охлаждаемый корпус.

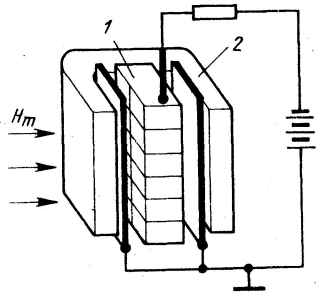
Скорость по воздуху до $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$,
давление от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-12} \text{ Па}$ при охлаждении азотом.

1- корпус, 2- анод, 3- геттер, 4 – источник электронов, 5 – экран-токоввод, 6 – отражательный электрод, 7 – трансформатор нагрева, 8- источник питания.

Недостатки:

- ограниченный ресурс по титану,
- чувствительность к разгерметизации.

Магнитные электроразрядные насосы



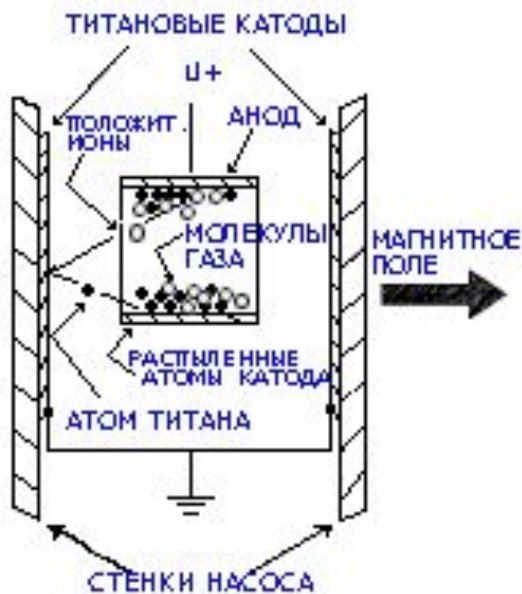
Саморегулирование скорости испарения геттера обеспечивается в магнитных электроразрядных насосах, в которых горит газовый разряд в скрещенных полях.

В диодном насосе между двумя катодными пластинами 1 расположен ячеистый катод 2, на который подается напряжение в несколько кВ.

Разряд возбуждается и горит тем интенсивнее, чем выше давление. Ионы попадают на катод и вызывают испарение геттера, который осаждается на ячейках анода и сорбирует газ.

Насосы надежны, просты конструктивно, имеют высокий ресурс и устойчивы к авариям.

Принцип работы магнитных электроразрядных насосов

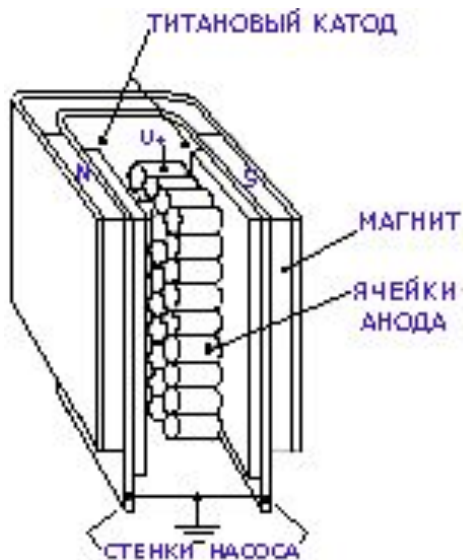


В насосе анод может представлять собой короткую секцию металлической трубки с круглым или квадратным сечением.

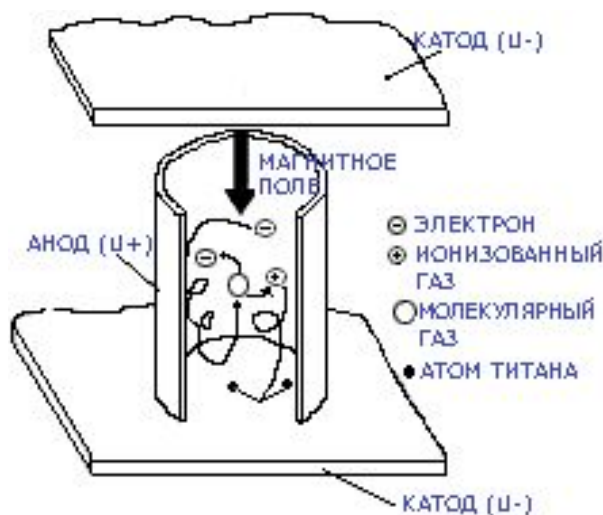
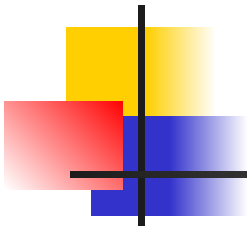
Напротив каждого открытого торца расположена подсоединенная к «земле» титановая пластина, которая является катодом.

Внешние магниты создают постоянное магнитное поле, обычно в диапазоне от 800 до 2000 Гс, параллельное оси анода.

Сконфигурированная подобным образом ячейка представляет собой диодный насос.



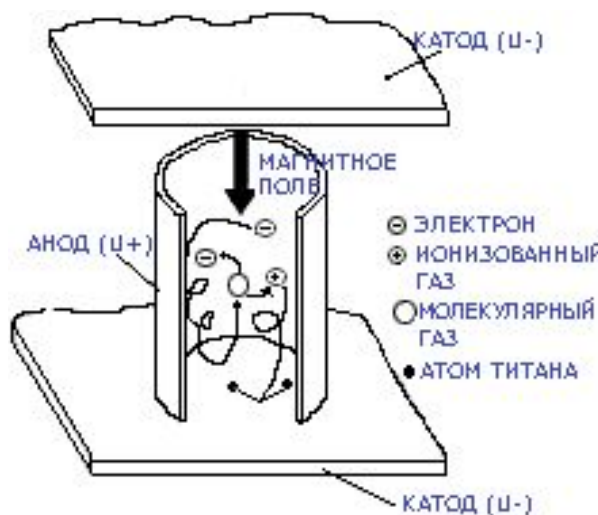
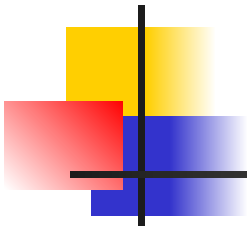
Затем ячейки заключаются в подходящую оболочку и данная сборка становится насосом. Для увеличения скорости откачки в корпус необходимо заключить больше ячеек с соответствующим образом увеличенным катодом



Функция анодной ячейки заключается в создании с помощью магнитного поля «облака» электронов с высокой энергией.

Магнитное поле заставляет двигаться электроны по спиральной траектории, что увеличивает вероятность их соударений с атомами и молекулами газа, увеличивая количество образующихся ионов.

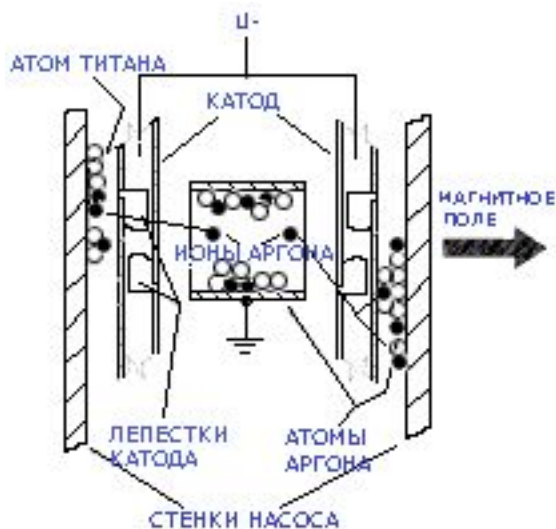
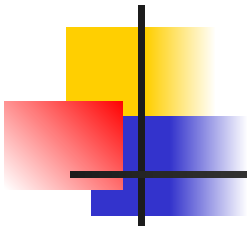
Данные ионы разгоняются высоким анодным напряжением в направлении катода, бомбардируют его, и в результате соударения выбивают атомы титана.



Выбитые из катода атомы осаждаются на внутренних поверхностях насоса, где вступают в химическую реакцию с активными газами, образуя устойчивые химические соединения.

В результате, эффективность откачки зависит от плотности электронного облака (которая определяет количество образующихся электронов) и коэффициента распыления (которая определяет количество образующегося геттерного материала). Плотность электронов зависит от геометрии ячейки Пеннинга и от напряженностей электрического и магнитного полей.

Регулируя данные параметры, можно модифицировать характеристики насоса, чтобы они соответствовали конкретному приложению



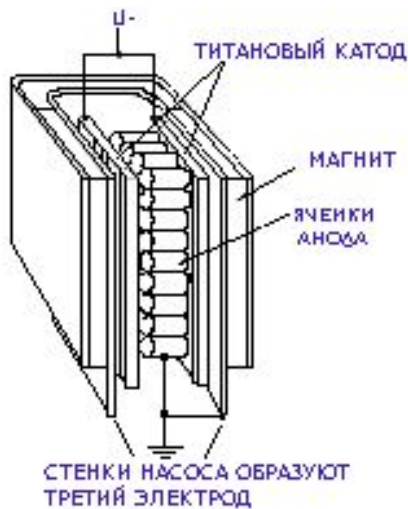
Количество образованной пленки из геттерного материала является функцией от количества соударений с ионами откачиваемого газа. Таким образом, ионно-геттерный насос является саморегулирующимся – он распыляет столько геттерного материала, сколько необходимо при данном давлении.

По этой причине при очень низких давлениях катодная пластина практически не эродирует и потребление электрической энергии очень мало.

Некоторые благородные газы откачиваются в результате ионизации. В этом случае под действием ускоряющего напряжения они имплантируются (по крайней мере, временно) в катод. Другие инертные газы откачиваются в результате того, что атомы, оказавшиеся на поверхности элементов и стенок насоса, «заштукатуриваются» распыленными атомами катода

Thermionic, США

Varian Vacuum Technology, Швейцария

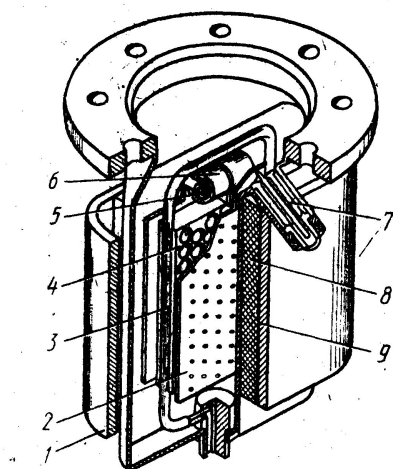


Когда необходимо иметь дело со значительным количеством благородных газов, необходимо использовать конфигурацию триод ионного насоса.

В триодном насосе катод находится под отрицательным потенциалом и состоит из тонких пластин, благодаря чему выбивание атомов катода происходит при наклонно-скользящем соударении ионов по катоду.

Благодаря этому они не имплантируются в катод в заметном количестве и нет большого выхода из катода ранее внедренных атомов. Вместо этого атомы газа или вступают в химическую реакцию, или покрываются слоем распыленных атомов геттера.

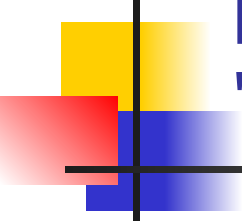
Магнитные электроразрядные насосы НМДО



Скорость по воздуху до $1000 \text{ м}^3/\text{с}$,
давление от 10^{-1} до 10^{-5} Па при охлаждении водой.

Особенность – потенциал подается на катод.

1 – корпус, 2 – катод, 3 – трубка охлаждения, 4 – анод, 5 – изолятор, 6 – экран, 7- токоввод, 8 – магнит, 9 – магнитопровод.

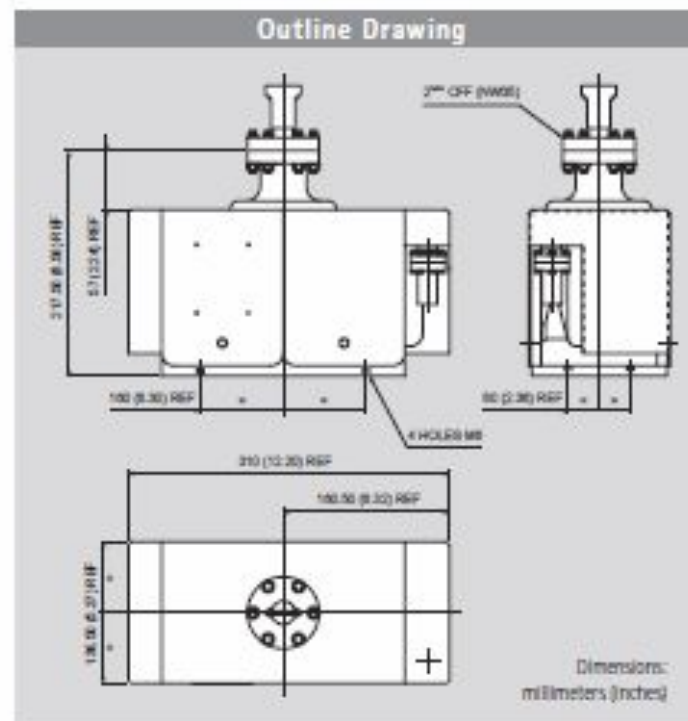


Промышленное технологическое оборудование ООО "Призма", г. Искитим <http://www.ooo-prizma.ru/>

Производительность от 6 до 1200 л/с,
Предельное остаточное давление, $4,0 \cdot 10^{-8}$ Па



Vaclon Plus 40

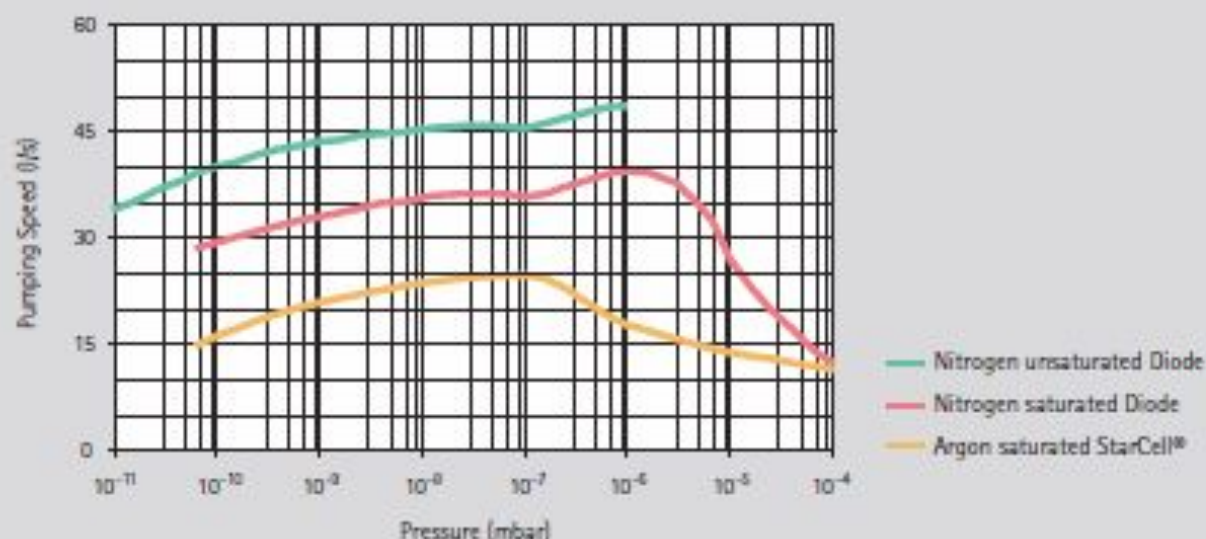


Technical Specifications

	StarCell®	Noble Diode	Diode
Nominal pumping speed for Nitrogen (*) (l/s)	34	36	40
Operating life at 1x10 ⁻⁶ mbar (hours)	80,000	50,000	50,000
Maximum starting pressure (mbar)	≤ 5x10 ⁻²	≤ 1x10 ⁻³	
Ultimate pressure	Below 10 ⁻¹¹		
Inlet flange	2 3/4" CFF (NW 35) AISI 304 ESR SST		
Maximum baking temperature (°C)	350		
Weight, kg (lbs)	17 (37)		

(*) Tested according to ISO/DIS 3556-1-1992

Vaclon Plus 40 – Pumping Speed vs Pressure

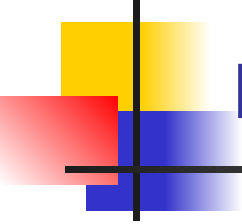


Ordering Information

Description	Part Number
Pumps	
Diode	9191210
Diode with additional 2 $\frac{3}{16}$ " CFF port	9191213
Diode without magnets	9191214
Noble Diode	9191220
Noble Diode with additional 2 $\frac{3}{16}$ " CFF port	9191223
Noble Diode without magnets	9191224
StarCell®	9191240
StarCell® with additional 2 $\frac{3}{16}$ " CFF port	9191243
StarCell® without magnets	9191244

Description	Part Number
HV Cables	
HV Bakeable cable, radiation resistant, 4 m (13 ft.) long, with interlock	9290705
HV Bakeable cable, radiation resistant, 7 m (23 ft.) long, with interlock	9290707
HV Bakeable cable, radiation resistant, 10 m (33 ft.) long, with interlock	9290708
HV Bakeable cable, radiation resistant, 20 m (66 ft.) long, with interlock	9290709

Replacement Parts



Комбинированные насосы

Это совокупность нескольких типов насосов в одном корпусе:

- Сорбционного и испарительно-ионного насосов,
- Дугового и магнитно-разрядного насосов и т.п.

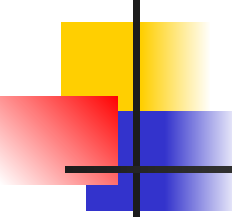
Целесообразность связана с тем, что геттерные насосы лучше откачивают химически активные газы, но не пригодны для инертных и углеводородов.

Агрегаты сверхвысоковакуумные комбинированные магниторазрядные геттерные типа АСВМГ (<http://vacma.ru>):



Принцип действия агрегата определяется работой сверхвысоковакуумного комбинированного насоса, который представляет собой комбинацию магниторазрядных модулей, испарителя титана и криогенного экрана, охлаждаемого жидким азотом.

Скорость по воздуху до $5000 \text{ л}^3/\text{с}$,
давление до $2,6 \cdot 10^{-8} \text{ Па}$



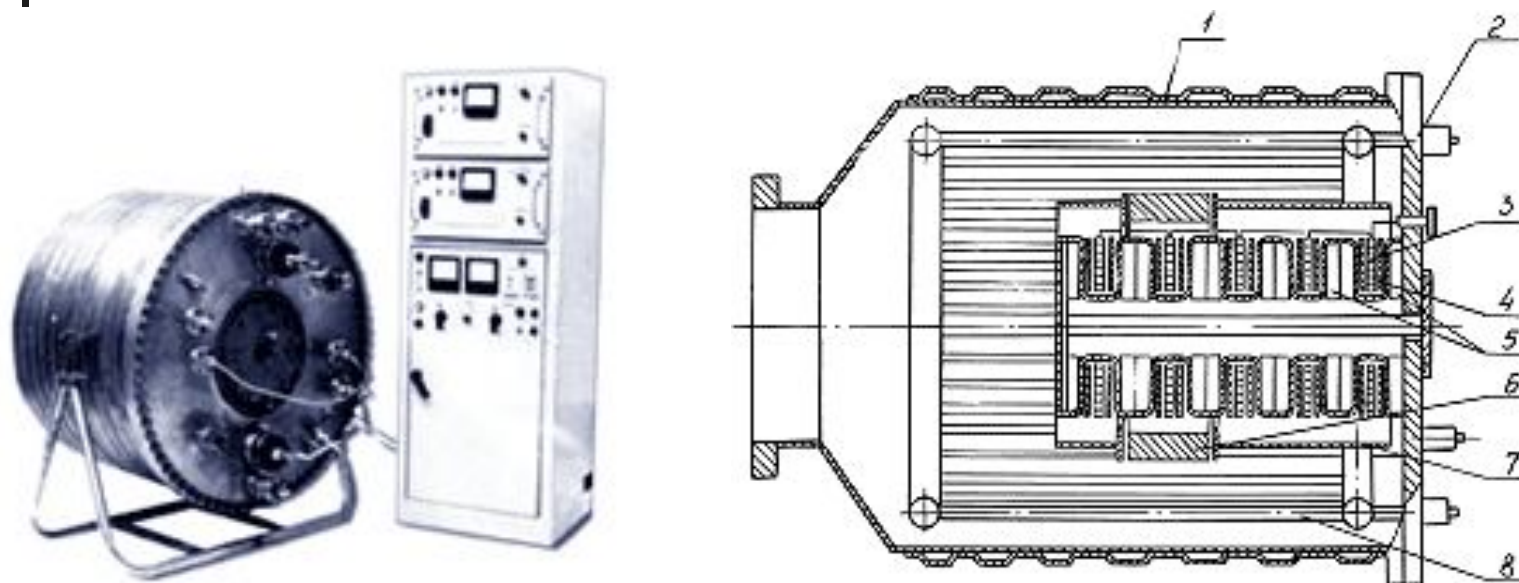
Насос магниторазрядный диодный испарительный НМДИ-16/40(<http://vacma.ru>):

Применяется для получения высокого и сверхвысокого вакуума в устройствах криогенной техники, имитаторах космических условий, в металлургии в процессе очистки металлов, в напылительной технике, в установках термоядерного синтеза и др.

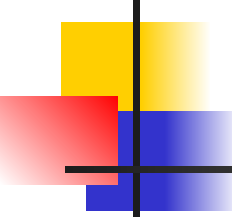
Откачка основана на удалении частиц газа в результате взаимодействия основных процессов: ионизации и катодного распыления посредством тлеющего разряда в магнитном поле, возгонки титана с электродугового испарителя, внедрение и замуровывание ионов в катодах, хемосорбции газов пленками напыляемого геттера.

Откачивание насоса происходит в результате приложения разности потенциалов 7 кВ между ячеистым анодом и катодами электродного блока, а также за счет распыления титана под действием низковольтного дугового разряда в вакууме, возбуждаемого между электродуговым испарителем и корпусом насоса, служащим анодом дугового испарителя.

Насос магниторазрядный диодный испарительный НМДИ-16/40(<http://vacma.ru>):



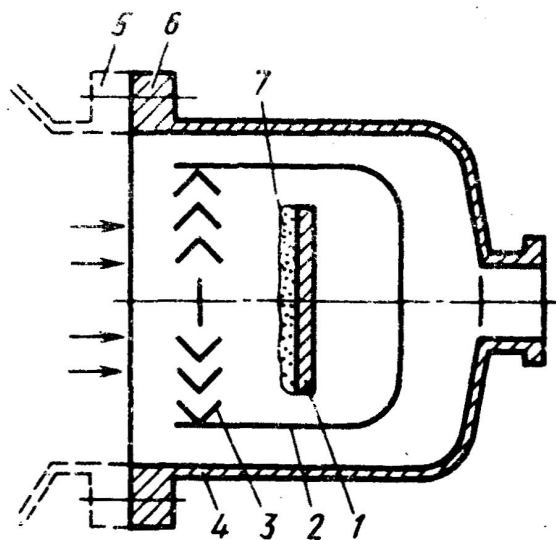
1 - корпус, 2 - днище, 3 - анод, 4 - катод, 5 - постоянные магниты, 6 - электродуговой испаритель титана, 7 - защитный экран, 8 - сорбционная панель



Насос магниторазрядный диодный испарительный НМДИ-16/40(<http://vacma.ru>):

Наименование параметра	НМДИ-16/40
Наибольшая быстрота действия в диапазоне давлений $1,3 \times 10^{-3}$ - $6,6 \times 10^{-6}$ Па, л/с:	по азоту и воздуху 16000; по водороду 40000
Наибольшее давление запуска, Па	13
Наибольшее рабочее давление, Па	$6,6 \times 10^{-2}$
Предельное остаточное давление, Па	$6,6 \times 10^{-8}$
Расход охлаждающей воды, л/ч	1500
Расход жидкого азота, л/ч	11
Диаметр условного прохода входного патрубка, мм	630
Габаритные размеры, мм	1230x1020x1060
Масса, кг	500

Схема крионасоса

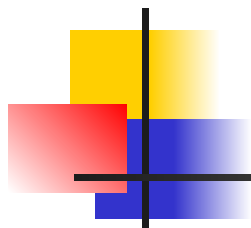


1 – криопанель, 2 – экран, 3 – жалюзи,
4 – корпус, 5 – и 6 фланцы, 7 –
криоосадок – конденсат.

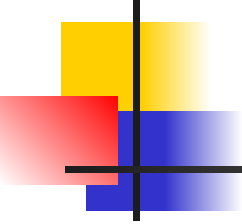
Быстродействие до 4000 л/с,
Время регенерации насоса 2-3 часа.

Криогенный насос НВК-200-1,5





1.6. Измерение вакуума

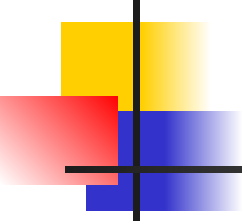


Манометры, предназначенные для измерения давления ниже атмосферного называются вакуумметрами. Они состоят обычно из измерительного преобразователя давления и измерительного блока. Преобразователь давления герметично присоединяется к вакуумной камере.

Вакуумметры классифицируют:

- по принципу действия
- и по методу измерения давления.

По методу измерения делятся на прямые и косвенные.

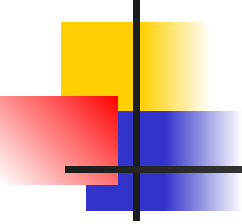


Прямые – измеряющие непосредственно давление, как отношение силы к площади. Имеются:

- Жидкостные,
- Грузопоршневые,
- Деформационные.

Показания этих вакуумметров не зависят от рода газа.

Нижний предел измерений 10^{-5} Па.



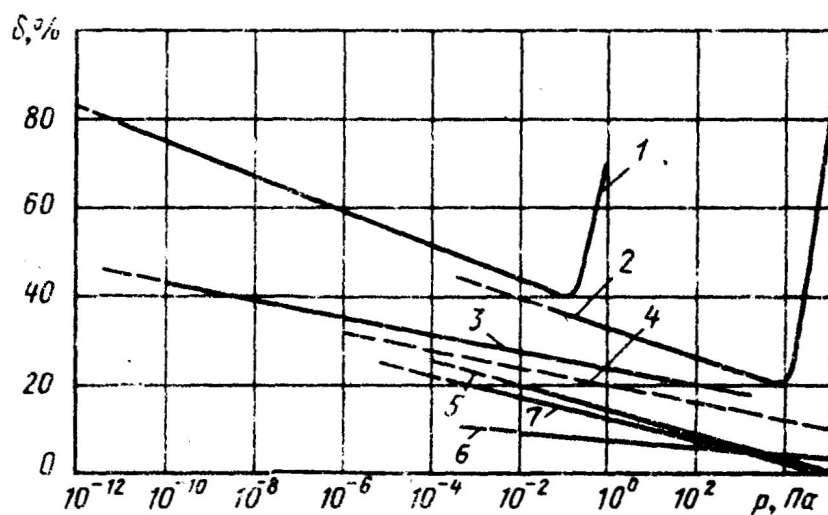
Косвенные – принцип действия основан на использовании зависимости некоторых физических процессов от давления.

Эти приборы измеряют ФВ, связанные с давлением определенной функциональной зависимостью. Различают:

- Ионизационные
- Вязкостные,
- Радиометрические,
- Тепловые.

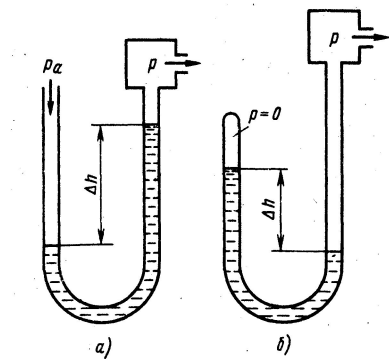
Их показания зависят от рода газа. Диапазон измерений и вид градуировочной характеристики устанавливают по результатам градуировки для определенного газа.

Погрешности и диапазоны измерений различных вакуумметров



- 1- ионизационных магнитных электроразрядных,
- 2 – тепловых,
- 3 – ионизационных электронных,
- 4 – вязкостных,
- 5 – деформационных,
- 6 – жидкостных.

Жидкостные U-образные вакуумметры



Работа основана на уравнивании измеряемого давления или разности давлений столба жидкости. Для исключения действия капиллярных сил диаметр трубки не менее 7 мм.

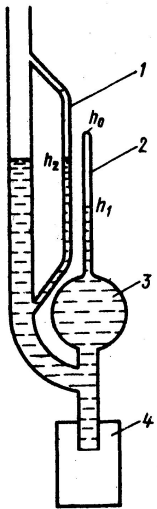
Измеряемое давление, Па:

$p = p_a - \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot \Delta h$, p_a – атмосферное давление, $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, Δh – разность уровней.

Наиболее подходят жидкости с большой плотностью – ртуть.

Диапазон – 0-100 гПа.

Жидкостные компрессионные вакуумметры

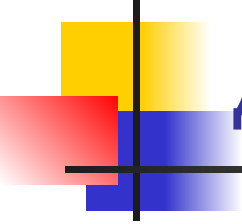


Находящийся в измерительном баллоне 3 объемом V газ, давление p которого надо измерить, сжимается в измерительном капилляре 2 до некоторого объема V_1 , в следствии принудительного подъема жидкости из резервуара 4. Давление p_1 в измерительном капилляре уравнивается давлением столба жидкости в сравнительном капилляре 1 и давлением газа в вакуумной системе:

$$p_1 = pV / V_1 = \rho_{\text{ж}} * g * (h_2 - h_1) + p.$$

Измеряемое давление, Па: $10^{-3} - 10^3$. Погрешность 1-3%

Наиболее подходят жидкости с большой плотностью – ртуть.



Деформационные вакуумметры

Давление определяется по деформации упругого элемента под действием разности давлений. Различают:

- Трубчатые,
- Мембранные,
- Сильфонные.

Трубочатые (Трубка Бурдона)



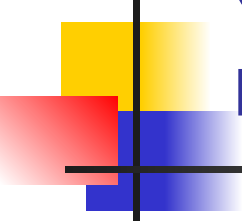
Чувствительный элемент — тонкостенная металлическая или кварцевая трубка кругового или плоского сечения свернутая в спираль. диапазон измерения от 10^2 до 10^5 Па при точности 1% и времени запаздывания 0.2с.

Прочный, недорогой, однако наблюдается старение и гистерезис. Увеличение числа витков повышает чувствительность (диапазон до $1..10^5$ Па) при пренебрежимо малом гистерезисе отклонения от линейности не более 1%.

Используется при высоких температурах

Деформация трубка приводит к движению стрелки, которая связана с концом системой передач. Промышленность выпускает типы ВО и ВТИ.



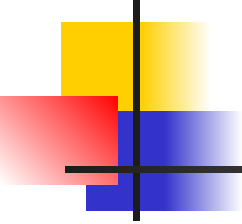


Сильфонные и мембранные вакуумметры

Давление определяется по деформации сильфона или мембраны под действием разности давлений.

При применении различных датчиков деформации (рассмотренных ранее) возрастают пределы и точность.

Пределы измерений датчиков типа ВС-Э1, МАС-Э1:
0,025- 0,1 МПа, класс точности до 0,6.



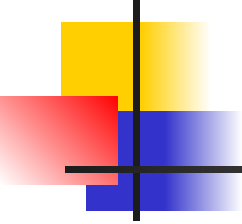
Для измерения деформации используются тензорезисторы, то есть такие резисторы, сопротивление которых изменяется при их линейной деформации. Существует три вида тензорезисторов:

- проволочные,
- фольговые
- и полупроводниковые.

Механизм возникновения тензочувствительности у проволочных и фольговых тензорезисторов имеет одну природу.

Сопротивление электрического проводника длиной l , с площадью поперечного сечения S выражается формулой:

$$R = \rho(l/S).$$



При увеличении длины проволоки вследствие ее упругой деформации на Δl ее диаметр уменьшается на Δd , причем относительные величины $\Delta l/l$ и $\Delta d/d$ связаны прямо пропорционально:

$$\Delta d/d = - 0.4 \Delta l/l.$$

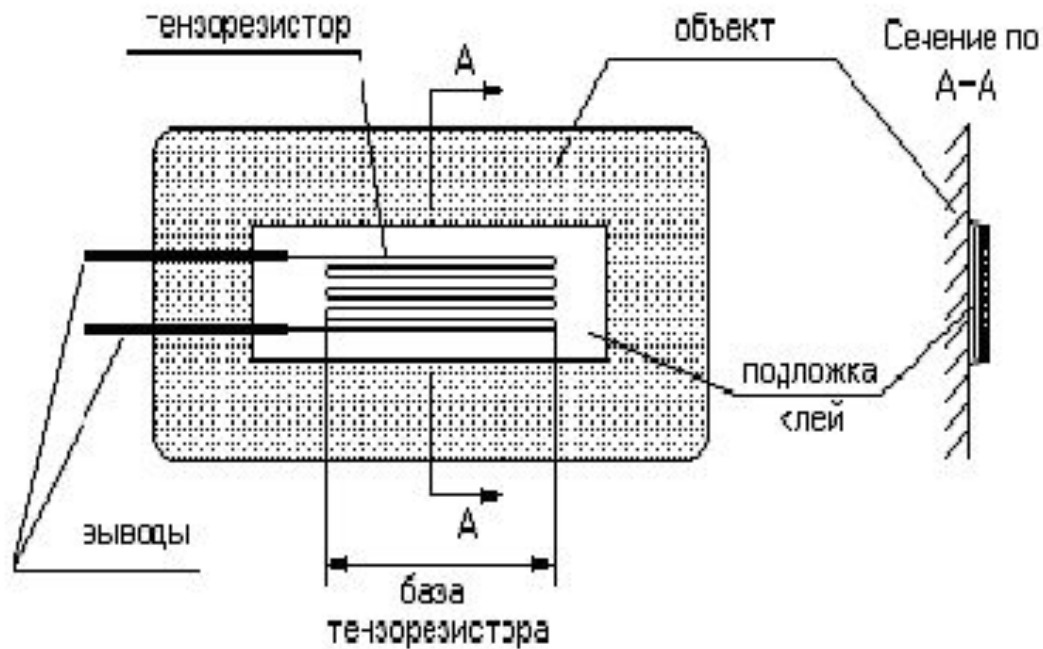
Кроме того при деформации проводника незначительно изменяется его удельное сопротивление ρ .

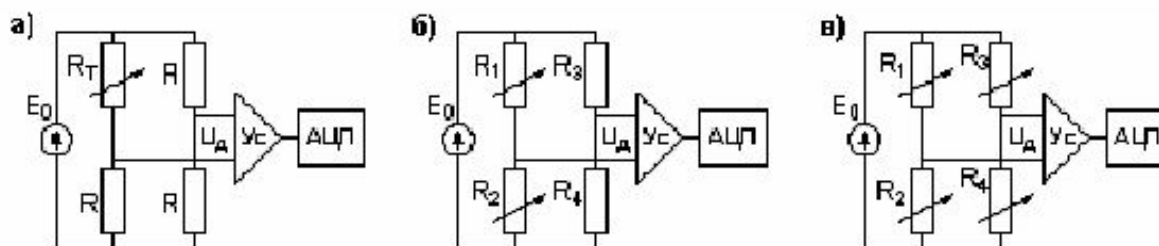
Прологарифмируем теперь исходное выражение и вычислим его дифференциал, заменив бесконечно малые на конечные приращения.

В результате получим выражение, связывающее относительные приращения:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - 2 \cdot \frac{\Delta d}{d}$$

Конструкция тензорезистора и его крепление





Для этого применяются мостовые схемы, которые уравниваются при отсутствии деформации.

В зависимости от доступности поверхностей объекта схемы включения тензорезисторов именуются «четверть моста» а), «половина моста» б) и «целый мост» в).

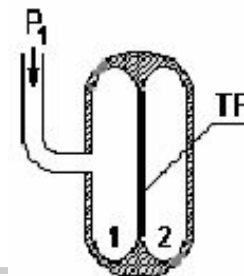
Сопротивления всех плеч моста, в том числе, сопротивления недеформированных тензорезисторов равны R .

Напряжение питания моста E_0 .

Выходное напряжение, вызванное деформацией тензорезисторов, возникает в измерительной диагонали и обозначено через U_d .

Измерительные преобразования при измерении давления с помощью тензорезистивного датчика





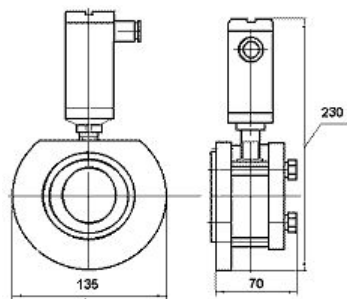
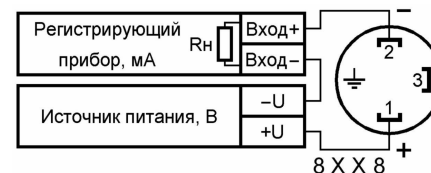
Внутренняя камера всех датчиков давления герметично делится упругой или мягкой мембраной на две полости.

В полости 2 датчика абсолютного давления создается вакуум. Упругим элементом является мембрана, на которой с помощью полупроводниковой технологии сформированы тензорезисторы ТР.

Эти тензорезисторы расположены на той стороне мембраны, которая находится в полости 2 и не подвергается воздействию среды, которая может быть агрессивной.

Площадь и жесткость этой мембраны должны быть известны с высокой точностью ибо в этом случае мембрана выполняет два преобразования: преобразование давления в силу через площадь мембраны и преобразование силы в деформацию тензорезисторов.

Датчик давления 408 (ООО «Пьезоэлектрик», г. Ростов на Дону)



$$R = \frac{U - 12E}{20 \text{ мА}} + 50 \text{ Ом}$$

Электронное устройство обеспечивает питание тензорезисторов, преобразует изменение сопротивления тензорезисторов в изменение токового выходного сигнала, компенсирует нелинейность тензопреобразователя и дополнительные погрешности, обусловленные температурой и другими влияющими факторами.

Датчик имеет корректоры для плавной настройки .

Измеряемые среды: газ, жидкость, пар

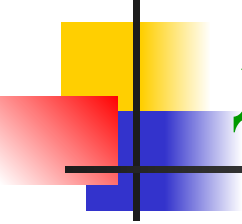
Пределы измерений:

- избыточное давление от 0,1 кПа до 100 МПа
- абсолютное давление от 25 кПа до 16 МПа
- разрежение от 0,1 кПа до 100 кПа
- давление-разрежение от +0,05 кПа до - 0,1...2,4 МПа
- разность давлений от 0,25 кПа до 2,5 МПа
- гидростатического давления от 0,25 м в.ст. до 25 м в.ст.

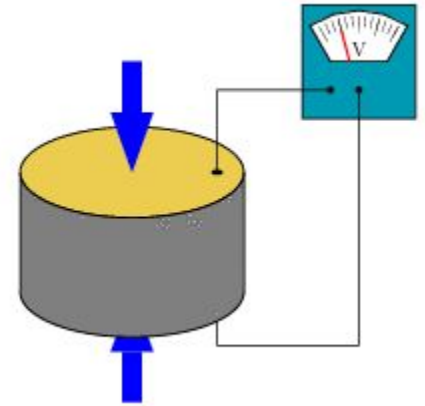
Выходной сигнал 0-5; 4-20 мА

Основная погрешность 0,5 (0,25; 0,15)%

Рабочая температура 5...50 (1...80; -30...50, -50...80)°C



Датчики на основе пьезоэффекта

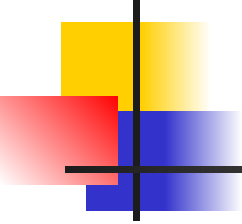


Пьезоэлектрический эффект — эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект).

Пьезоэлектрические датчики относятся к генераторным датчикам. Ы.

Это означает, что материал, обладающий пьезоэффектом, выполняет преобразование силы в электрический заряд.

Природным материалом, который обладает пьезоэффектом, является кварц или горный хрусталь.

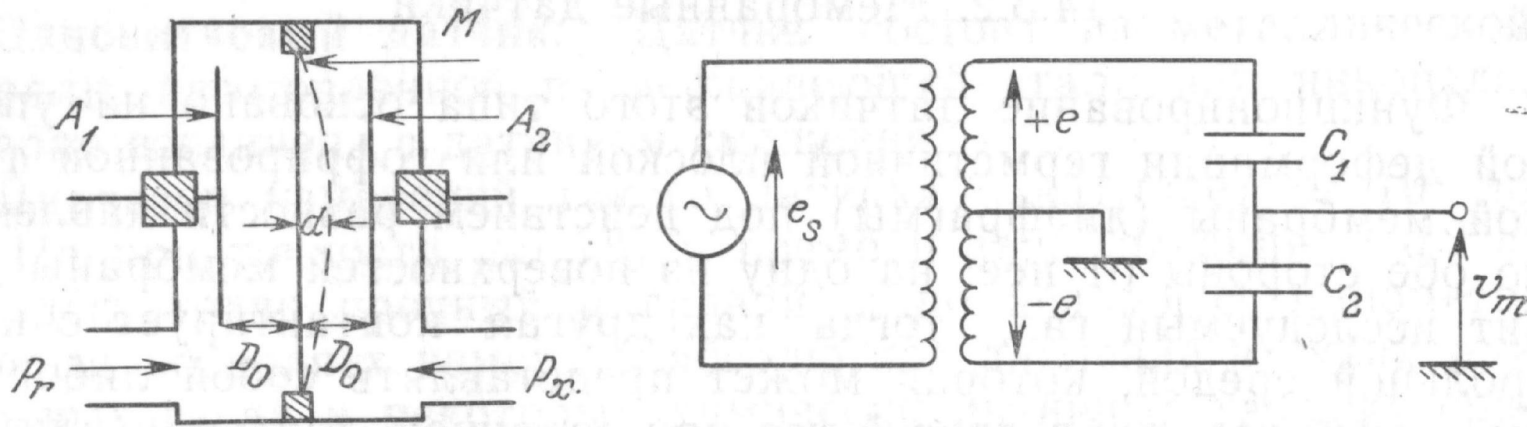


Датчики на основе пьезосопротивления

пьезорезистивные датчики прикрепляются к мембране либо наносятся на поверхность путем

прочные, малочувствительные к вибрации, постоянная времени 20-50 мкс
пригодны для использования в химически активных средах

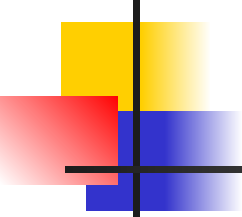
Емкостные вакуумметры



$$v_m = e \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$$

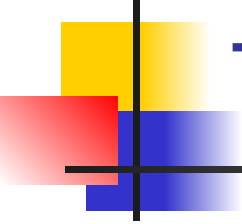
$$v_m = -e(d / D_0) = -E(d / D_0) \cos \omega t$$

При смещении мембраны из ее начального положения в плоскости симметрии емкости изменяются пропорционально соответственно $1/(D+d)$ и $1/(D-d)$.



Особенности емкостных вакуумметров

необходимо учитывать кривизну мембраны: вогнутые обкладки,
линеаризация сигнала
один и тот же газ по обе стороны мембраны(диэлектрическая постоянная),
нежелателен частично ионизованный газ
высокая чувствительность,
отличное разрешение,
диапазон применения от 10^{-2} Па до $10^5..10^6$ Па
одна модель до 4..5 порядком, точность 0.1..0.03% от величины показания
отклонение от линейности 0,02%
разрешение до 10^{-5} от верхнего предела измерений
постоянна запаздывания от миллисекунд до 0.1с
Выпускается промышленностью серия «Сапфир»



Тепловые вакуумметры

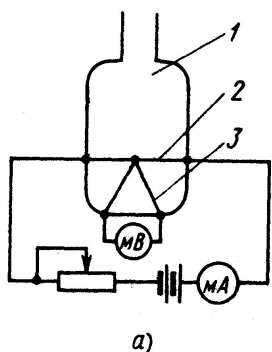
Действие тепловых вакуумметров основано на зависимости теплопроводности разряженного газа от давления.

Преобразователь теплового вакуумметра есть баллон, внутри которого расположен нагреваемый электрическим током чувствительный элемент — обычно прямолинейная металлическая нить .

Температура нити накала зависит от тепловых потерь в результате теплопроводности в газе, которые тем больше чем выше давление;

Измерения температуры нити или мощности необходимой для поддержания этой температуры постоянной позволяют определить давление.

Тепловые вакуумметры



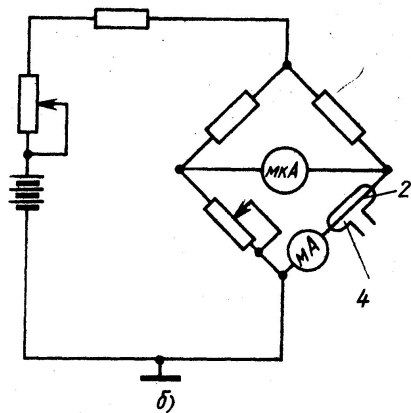
Температуру нити можно определить путем измерения ее сопротивления (датчик Пирани - терморезистивный) либо с помощью термопары, прикрепленной к нити.

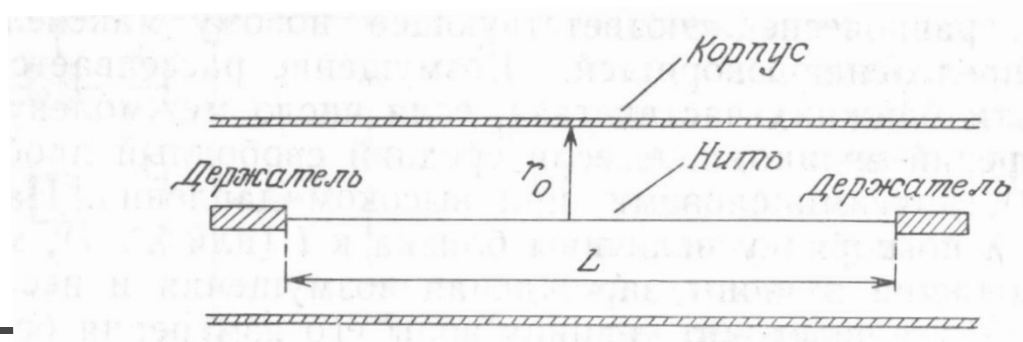
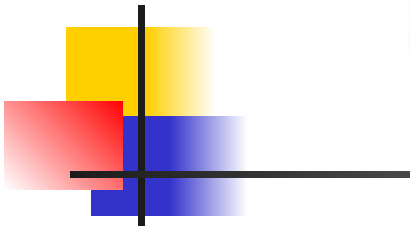
1 – термопарный преобразователь,

2 - нагреваемая нить,

3 –термопара,

4 – терморезисторный преобразователь.





Чувствительность датчика тем выше, чем длиннее и тоньше нить (платина, вольфрам, никель)

Датчики обычно достаточно прочны, невысокие по стоимости.

Диапазон от 10^5 до 10^{-2} Па, одна модель до трех порядков

Датчик необходимо градуировать для каждого газа

Постоянная времени 0.02..0.2 с

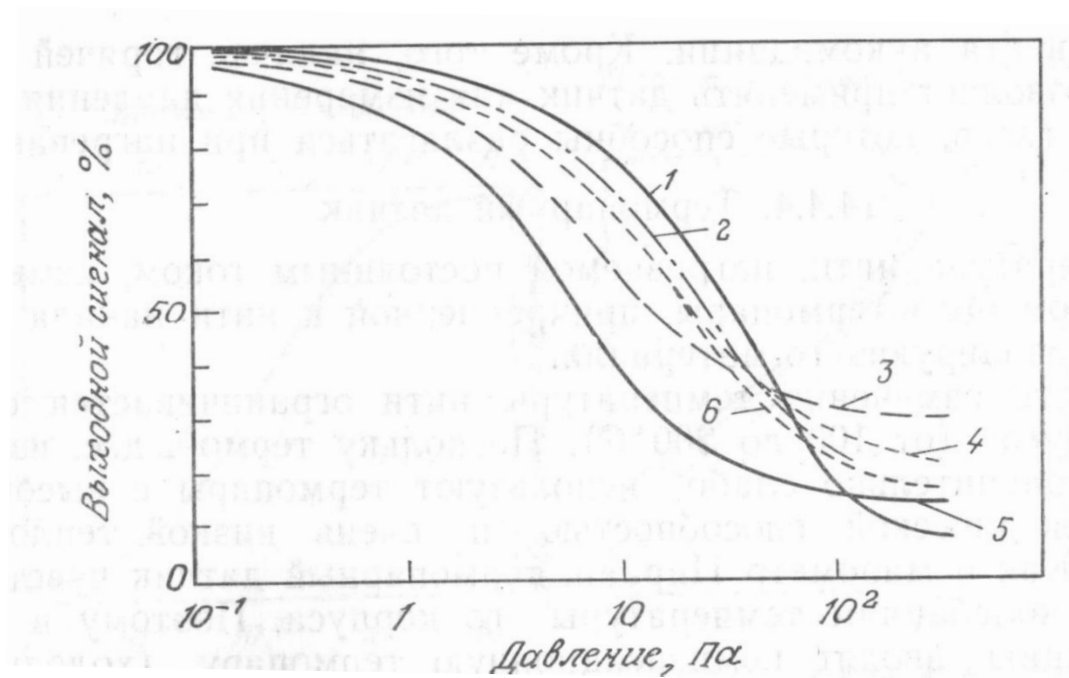
Точность $\sim 10..20\%$ от величины показания

Не чувствительны к разгерметизации, т.к. температура нити не более 420К.

Промышленность выпускает датчики:

- ПМТ- 2 термопарный, стеклянный корпус,
- ПМТ- 4 термопарный, стальной корпус,
- ПМТ- 6 терморезисторный, стальной корпус,

Градуировочная кривая термопарного датчика для различных газов



значение выходного сигнала 5..10мВ.

Преобразователь манометрический терморезисторный ПМТ-6-3М-1 (<http://www.niivt.ru>)



Предназначен для контроля давлений в диапазоне $2,7 \times 10^{-1} - 10^5$ Па (в режиме постоянного сопротивления 116,5 Ом). Сопротивление нагревателя при температуре 200С ($72 \pm 4,5$) Ом.

Работает в комплекте с вакуумметрами ВТБ-1, ВТБ-2.

Присоединяются к системе через «грибковое» (штуцерное) соединение ДУ-16 с резиновым уплотнением.

Преобразователь представляет собой тонкостенный цилиндрический баллон из нержавеющей стали и смонтированного вдоль его оси нагревателя из платиновой проволоки диаметром 12 мкм и длиной 8 см.

Режим работы преобразователя – режим постоянной температуры, которую контролируют по электрическому сопротивлению преобразователя.

Преобразователь манометрический терморезисторный ПМТ-6-3Ф (<http://www.niivt.ru>)



Этот прибор предназначен для работы в прогреваемых установках.

Преобразователь состоит из тонкостенного цилиндрического баллона из нержавеющей стали и смонтированного вдоль его оси нагревателя из платиновой проволоки диаметром 12 мкм и длиной 8 см.

Обычный режим работы преобразователя – режим постоянной температуры, которую контролируют по электрическому сопротивлению нагревателя.

Мерой давления служит падение напряжения на нагревателе.

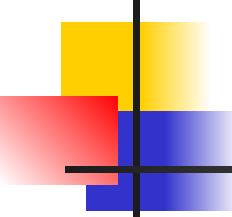
Диапазон измеряемых давлений от **0,4 до 10^5 Па** (при нормированной погрешности в пределах от 1,3 до 4×10^3 Па).

Преобразователь смонтирован на фланце ДУ-20 с металлическим уплотнением, которым и присоединяется к установке.

Блок индикации и регулирования давления термопарный ИРДТ-2



Блок предназначен для измерения, индикации и регулирования давления в вакуумных установках. Диапазон индикации давления сухого воздуха: $(6,6 \times 10^1 \dots 1,3 \times 10^{-2})$ Па, $(5 \times 10^{-1} \dots 10^{-4})$ мм рт.ст. Допускается использование блока для индикации и регулирования давления других газов с учетом пересчетных коэффициентов. ИРДТ-2 измеряет давление в комплекте с первичными манометрическими преобразователями типа ПМТ-2 и обеспечивает регулирование давления путем управления клапаном натекателем, имеющим дискретное или аналоговое управление.



Блок индикации и регулирования давления термопарный ИРДТ-2

Основные характеристики:

Единицы индикации – Па, мм рт.ст., мВ;

Количество каналов измерения и индикации – 2;

Диапазон изменения тока нагревателя термопарного преобразователя от 90 мА до 150 мА с дискретностью 0,1 мА;

Тип регулирования по выбору:

- *ручное дискретное;*
- *ручное аналоговое;*
- *автоматическое 2-хпозиционное;*
- *автоматическое широтно-импульсное по ПИД-закону;*
- *автоматическое аналоговое по ПИД-закону;*

Уровень выходных аналоговых сигналов 0... 10 В на нагрузку не менее 2 кОм;

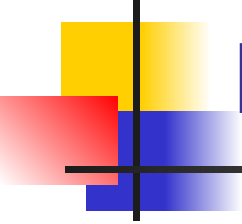
Количество каналов регулирования — 1;

Допустимый ток дискретных выходов управления клапаном-натекателем — 0,5 А при напряжении постоянного тока не более 30 В;

Количество каналов блокировки — по 2 на каждом канале измерения;

Допустимый коммутируемый ток контактов выходных реле — 0,1 А при напряжении 220 В переменного и 24 В постоянного тока;

Интерфейс связи с внешними устройствами RS232.;

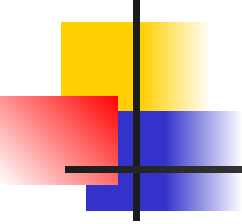


Ионизационные вакуумметры

Действие ионизационных вакуумметров основано на зависимости ионного тока, возникшего в результате ионизации молекул разряженного газа от давления.

Имеется три типа преобразователей:

- 1) Электронные ионизационные , в которых ионизация газа осуществляется ускоренными электронами,
- 2) радиоизотопными, в которых для ионизации применяется излучение изотопа,
- 3) магнитные электроразрядные – на зависимости тока электрического разряда в магнитном поле (Пеннинга).



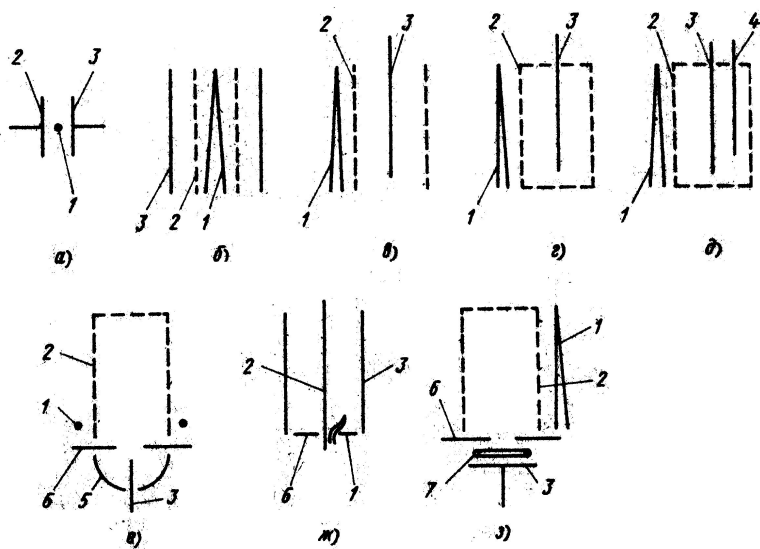
Коэффициент ионизации

среднее число пар ион-электрон на один первичный электрон с заданной энергией при единичной длине пробега и единичной давлении

коэффициент ионизации для α -частиц примерно в 10^4 раз больше чем для электронов

энергия ионизации от 24,5 эВ для He до 3,9эВ для Cs

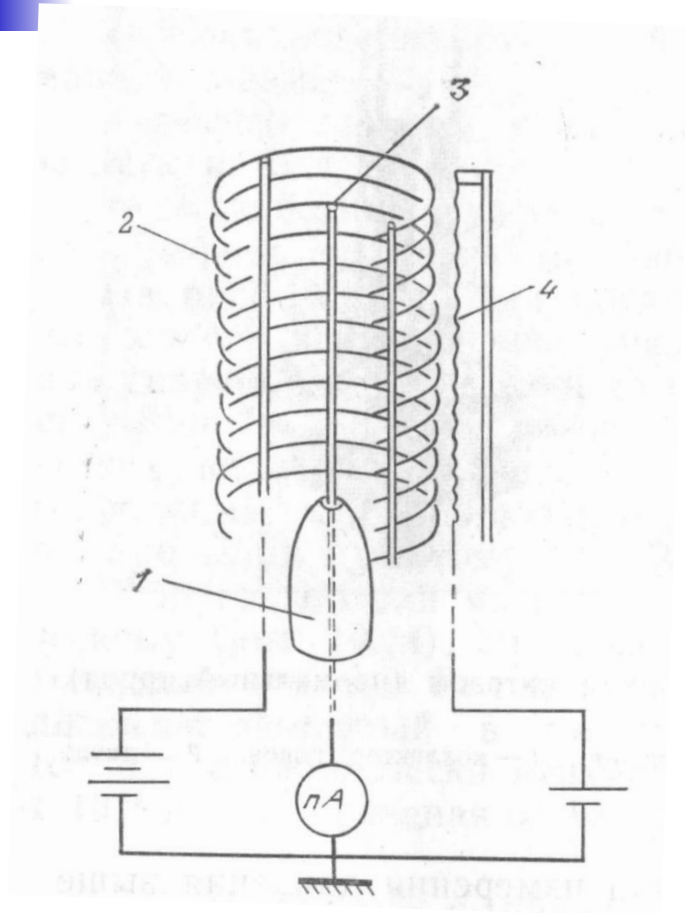
Принципиальные схемы ионизационных преобразователей



1- катод, 2 – анод, 3- коллектор,
4 - модулятор, 5- отражатель
ионов, 6 – экран, 7-супрессор.

- А) прямопролетный для высоких давлений;
- Б) с цилиндрическим коллектором,
- В) с осевым коллектором (Байарда-Альперта),
- Г) с осевым коллектором и торцевыми сетками,
- Д) с осевым коллектором и модулятором,
- Е) экстракторный,
- Ж) орбитронный,
- З) супрессорный.

Триод Байярда-Альпетра



Преобразователь манометрический ионизационный ПМИ-3-2 (<http://www.niivt.ru>)



Преобразователь предназначен для измерения давления от **1 до 10^{-5} Па** в металлических установках, прогреваемых до $+400^{\circ}\text{C}$.

Электродная система преобразователя смонтирована на фланце ДУ-50 и состоит из прямонакального катода, анодной сетки и цилиндрического никелевого коллектора ионов.

Катод выполнен воздухостойким и сделан из иридиевой проволоки, с покрытием двуокиси иттрия, благодаря чему этот преобразователь имеет повышенный срок службы и более широкий диапазон измеряемых давления (по сравнению с ПМИ-2).

Преобразователь применяется в комплекте вакуумметров ВИТ-2 и ВИТ-3.

Блок индикации и регулирования давления ионизационный ИРДИ-2

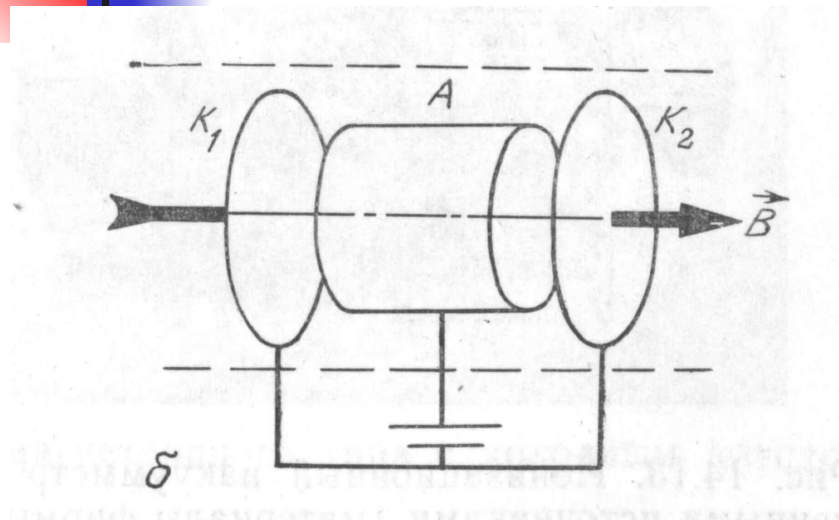


Блок предназначен для индикации и регулирования давления в вакуумных установках. ИРДИ-2 работает в комплекте с манометрическим преобразователем ПМИ-2.

Основные характеристики:

- цифровая индикация давления в диапазоне от 8×10^{-1} Па до $1,3 \times 10^{-3}$ Па с возможностью вывода на индикатор значения давления в Па, мм рт.ст. и мА;
- индикация значения тока эмиссии, режимов работы блока и информации о нештатных ситуациях (обрыв цепей накала или анода манометрического преобразователя, отклонение тока эмиссии, давление больше предельного и др.);
- формирование дискретных сигналов по двум каналам блокировки и по двум информационным каналам;
- местное и дистанционное управление включением (отключением) режимов измерения и регулирования давления;
- ручное и автоматическое регулирование давления в комплекте с клапаном накатателем с дискретным или аналоговым управлением;
- интерфейс связи с внешними устройствами RS232.

Манометр Пеннинга



чтобы увеличить длину пробега и коэффициент ионизации помещается вокруг разрядной трубки постоянный магнит индукция B порядка 0,1 Тл до давлений порядка 10^{-5} Па. постоянная времени 0,5 с.



Преобразователь магнитный электроразрядный ПММ-32-1 (<http://www.niivt.ru>)



Прибор ПММ-32-1 является газоразрядным преобразователем инверсно-магнетронного типа.

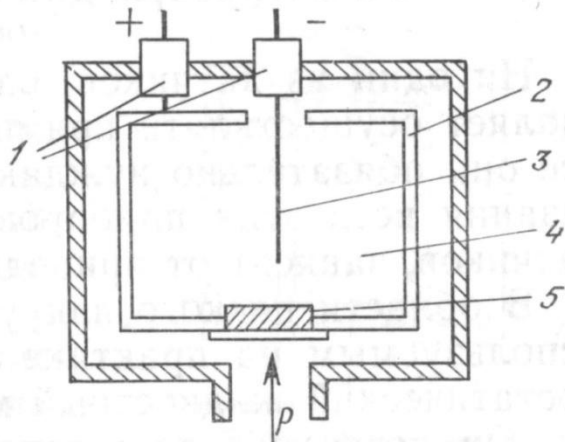
Диапазон от 10^{-7} до 1 Па .

Преобразователь рассчитан на применение в металлических установках высокого и сверхвысокого вакуума в комплекте вакуумметров ВМБ-8, ВМБ-14 и ВМЦБ-12.

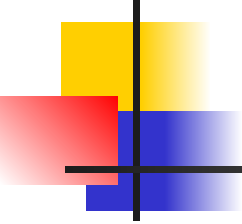
Электродная система преобразователя смонтирована на фланце ДУ-50. Анодом служит центральный стержень, катодом — цилиндрический постоянный магнит, создающий в зазоре его полюсных наконечников индукцию 0,1 Тл.

Анод и катод (магнит) изолированы от корпуса. В нормальном рабочем режиме на анод подается напряжение +2500 В через резистор 1,1 Мом; разрядный ток, служащий мерой давления, измеряется в цепи катода.

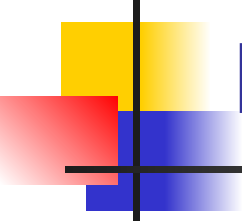
С источником ИИ



источник α -частиц 5 — соли радия или полония с активностью порядка 100 мкКи
коллектор ионов 3 заряжается отрицательно по отношению к камере ($50..100 \text{ В}$).
давления от 10^{-2} до 10^3 Па
чувствительность зависит от природы газа
верхний предел повышение рекомбинации ион-электрон
нижний — остаточный ток вторичных электронов, высвобождающихся в результате бомбардировки коллектора α -частицами



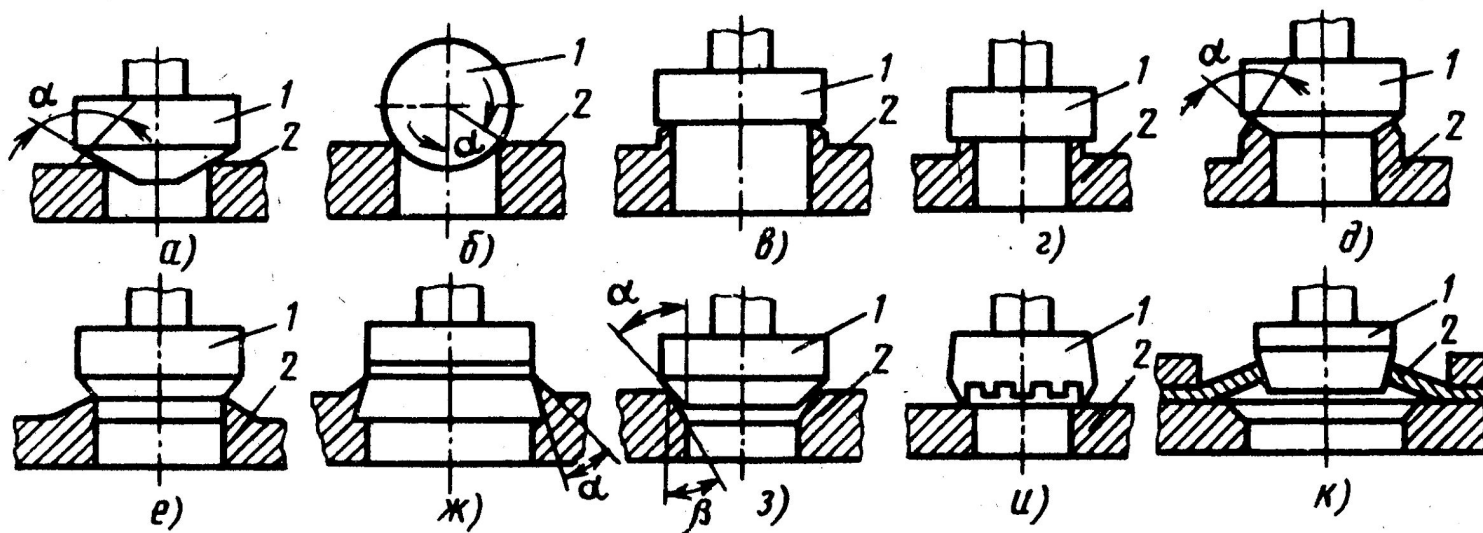
1.7. Компоненты вакуумных систем



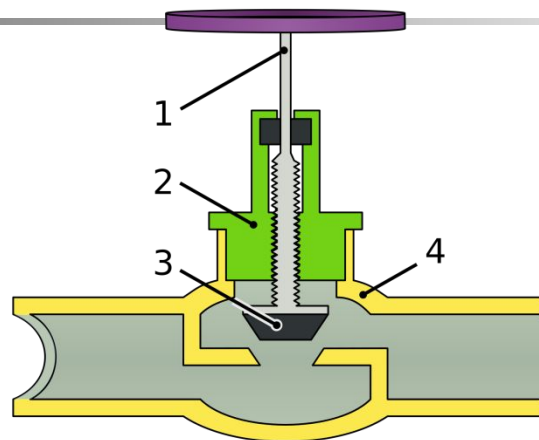
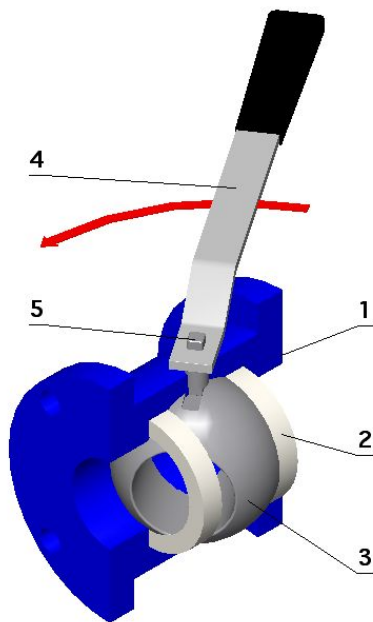
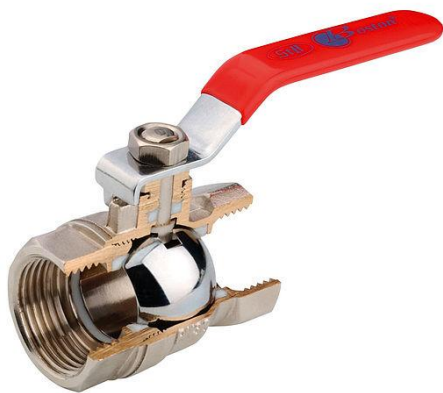
ВАКУУМНАЯ АРМАТУРА

- Клапаны вакуумные с ручным приводом,
- Клапаны вакуумные с электромеханическим приводом,
- Клапаны вакуумные с электромагнитным приводом,
- Клапаны-натекатели,
- Затворы вакуумные с электромеханическим приводом.

Седла запорной аппаратуры



Шаровой кран и запорный вентиль

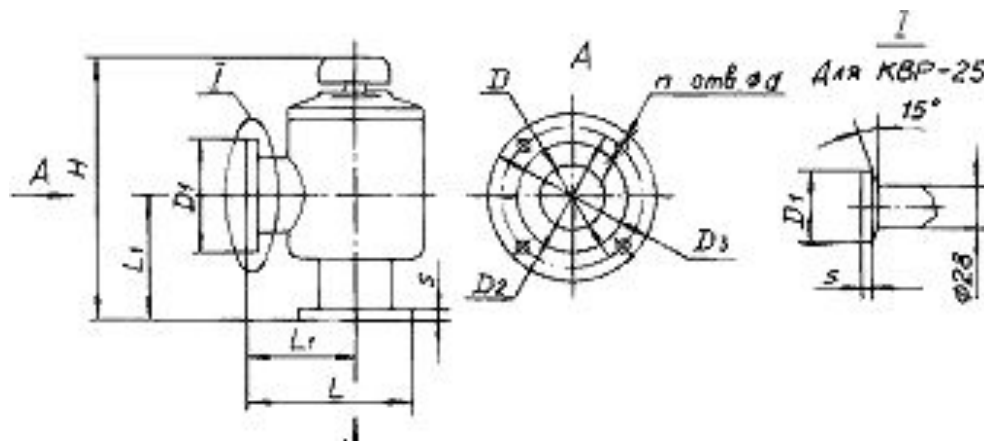




Клапаны вакуумные с ручным приводом типа КВР (<http://vacma.ru>):

Наименование параметра	КВР-25	КВР-63	КВР-100
Проводимость (теоретическая) в молекулярном режиме, л/с, не менее	16	180	470
Наибольшая величина натекания, л Па/с (л мм рт.ст./с), не более	1×10^{-7} ($7,5 \times 10^{-7}$)		
Диапазон давлений, Па (мм рт.ст.)	1×10^{-5} - 5×10^5 ($7,5 \times 10^{-8}$ - $3,8 \times 10^3$)		
Габаритные размеры, мм, не более (высота/длина/ширина)	110/80/60	215/150/120	250/185/150
Масса, кг, не более	0,65	3,8	6,5
Средний ресурс до капитального ремонта, цикл, не менее	120000		
Средний срок службы до капитального ремонта, лет, не менее	8		

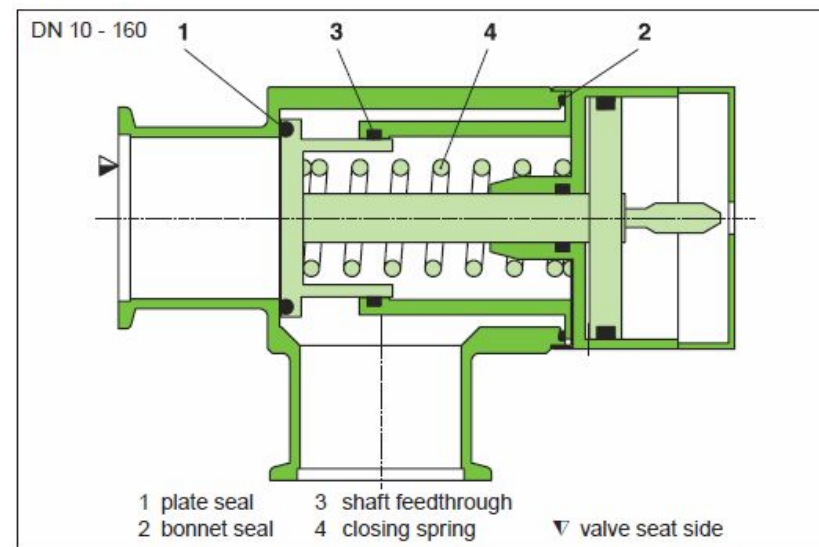
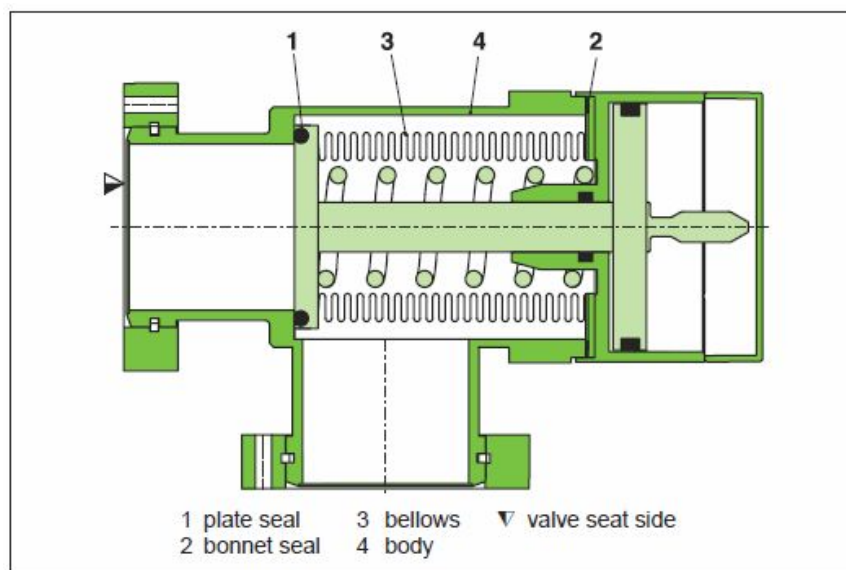
Внешний вид и чертеж клапанов типа КВР



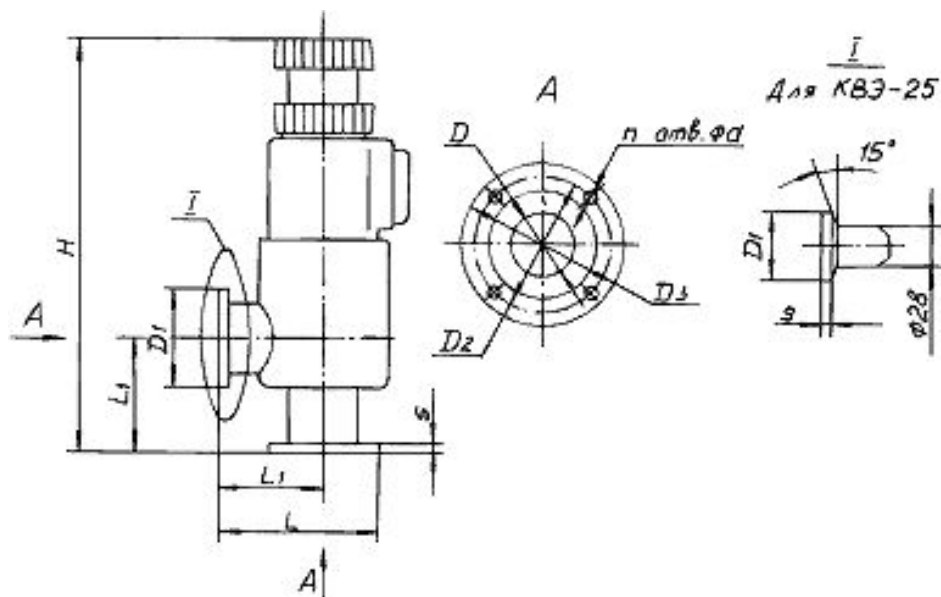


Клапаны вакуумные с электромеханическим приводом типа КВЭ (<http://vacma.ru>):

Наименование параметра	КВЭ-25	КВЭ-63	КВЭ-100
Проводимость, л/с, не менее	14,2	180	470
Наибольшая величина натекания, л Па/с (л мкм рт. ст./с), не более	1×10^{-7} ($7,5 \times 10^{-7}$)		
Диапазон давлений, Па (мм рт. ст.)	1×10^{-5} - $1,07 \times 10^5$ ($7,5 \times 10^{-8}$ - 800)		
Время открывания (закрывания), с, не более	0,3	0,5	0,8
Габаритные размеры, мм, не более высота/длина/ширина	270/110/75	345/155/120	450/200/150
Масса, кг, не более	3,2	5,2	10
Средний ресурс, цикл, не менее	60000		
Средний срок службы, лет.	8		
Мощность электродвигателя, Вт	25	25	60
Напряжение, В	380		



Внешний вид и чертеж клапанов типа КВЭ

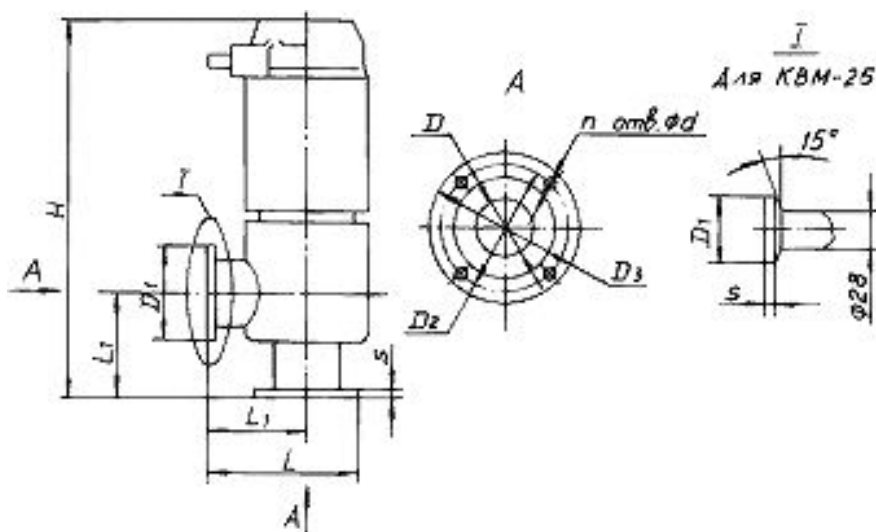


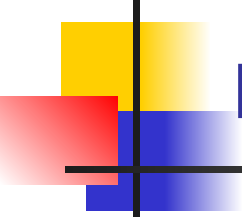


Клапаны вакуумные с электромагнитным приводом типа KBM (<http://vacma.ru>):

Наименование параметра	KBM-25	KBM-63
1. Диаметр условного прохода	25	63
2. Проводимость (теоретическая) в молекулярном режиме, л/с, не менее	14,2	180
3. Наибольшая величина натекания воздуха в вакуумную полость клапана, л Па/с (л мкм рт.ст./с)	1×10^{-7} ($7,5 \times 10^{-7}$)	
4. Питание электромагнита, В/Гц	220/50	
5. Потребляемый ток, А, не более, в открытом состоянии	0,35	0,6
6. Время открывания (закрывания), с, не более	0,1	0,5
7. Продолжительность включения, %	100	
9. Средний ресурс до капитального ремонта, циклы	60000	
11. Масса, кг, не более	1,9	8,0
12. Масса УУК-1, кг, не более	0,6	

Внешний вид и чертеж клапанов типа КВМ

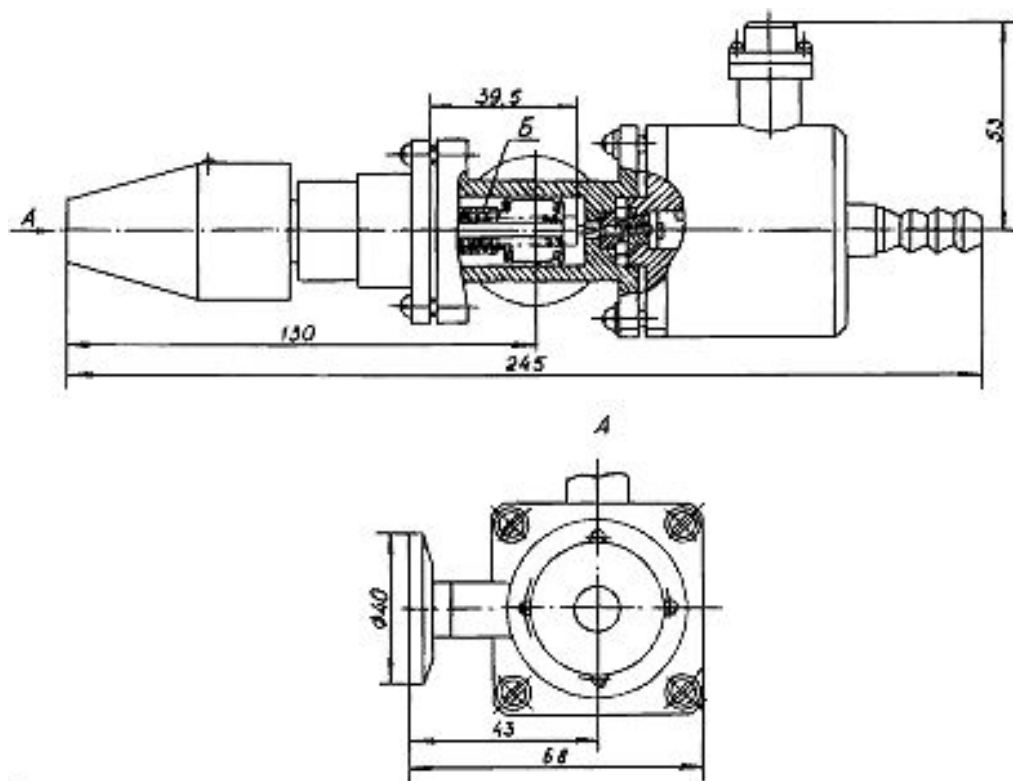


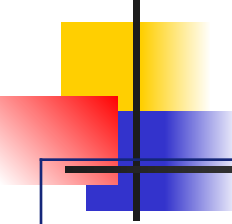


Клапан-натекатель КН-2М'(<http://vacma.ru>):

Наименование параметра	КН-2М
Норма герметичности, $\text{м}^3 \times \text{Па} / \text{с}$ (лхмкм рт.ст./с)	$2,7 \times 10^{-4}$ ($2,1 \times 10^{-3}$)
Потребляемая мощность, Вт, не более	40
Наименьший поток напускаемого газа, лхПа/с (мм рт.ст.)	$2,7 \times 10^{-4}$ ($2,0 \times 10^{-3}$)
Наибольший поток напускаемого газа, лхПа/с (мм рт.ст.)	66 (0,5)
Условный проход, мм	1,2
Масса, кг, не более	1,7

Внешний вид и чертеж клапанов типа КВМ

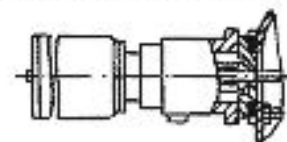
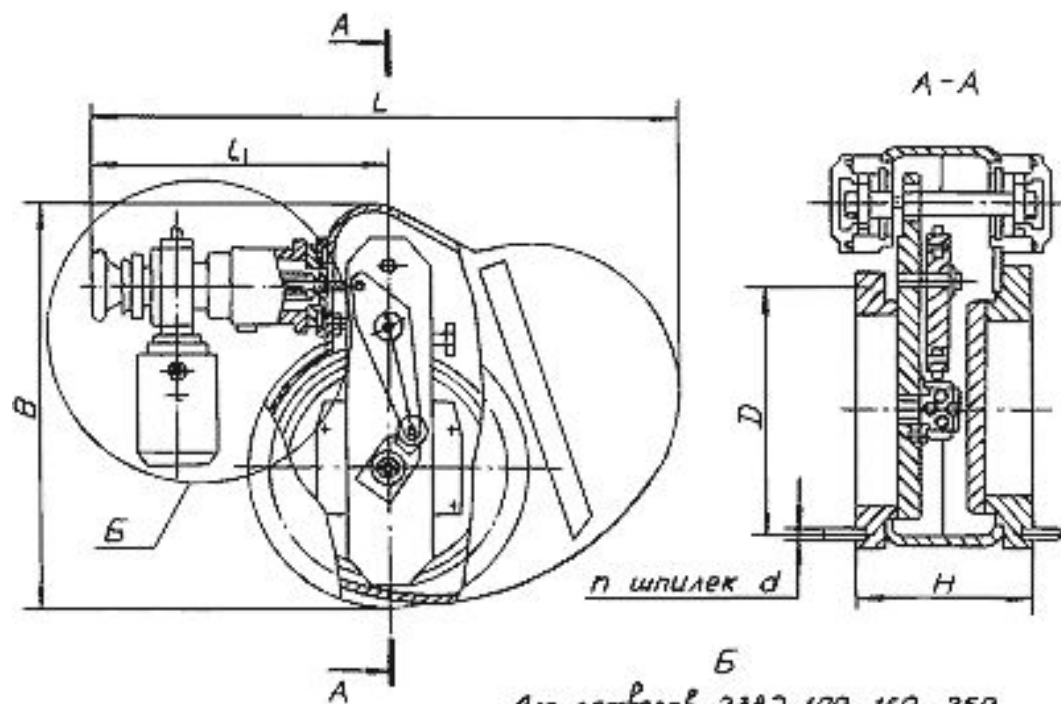


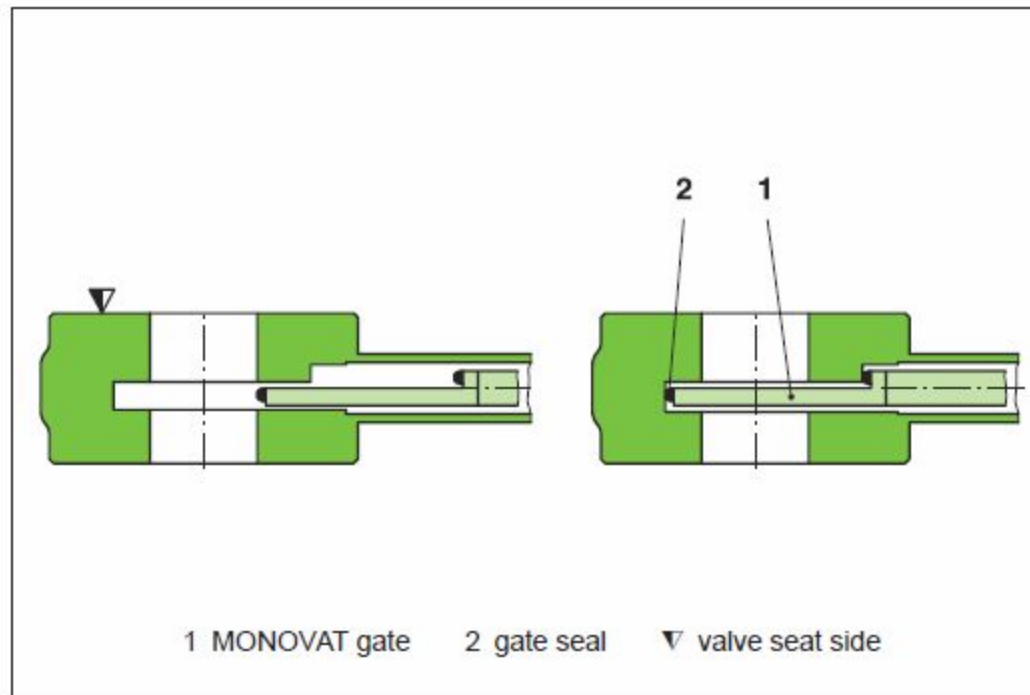
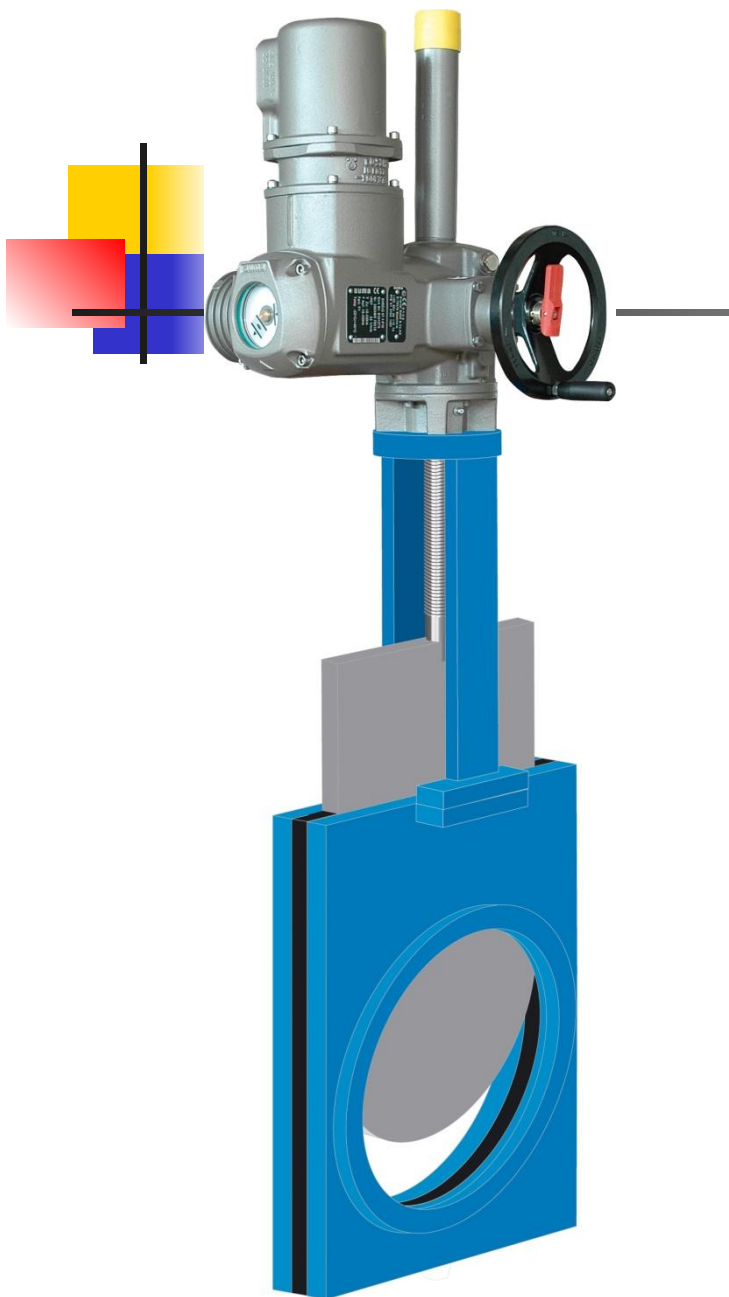


Затворы вакуумные с электромеханическим приводом типа 23ВЭ (<http://vacma.ru>):

	23ВЭ-100	23ВЭ-160	23ВЭ-250	23ВЭ-400	23ВЭ-630
Проводимость в молекулярном режиме, л/с	1300	3340	13400	46250	146000
Время открывания (закрывания), с, не более	3	4	9	27	55
Наибольшая величина натекания, л Па/с, не более (л мкм рт.ст/с)	1×10^{-7} $(7,5 \times 10^{-7})$				
Потребляемая мощность, Вт, не более	63	100	100	200	460
Напряжение, В	220/380				
Частота, Гц	50	50	50	50	50
Средний ресурс до капитального ремонта, циклы	50000				
Масса, кг, не более	17	24	46	110	350

Внешний вид и чертеж затворов типа 23ВЭ





MONOVAT configuration (see glossary)

Bellows-sealed

Mechanism free of lubricants

Leak rate: body / valve seat

$< 5 \cdot 10^{-10} / < 1 \cdot 10^{-9} \text{ mbar ls}^{-1}$

Pressure range

$1 \cdot 10^{-10} \text{ mbar to 2 bar (abs)}$

Differential pressure on the gate

$\leq 2 \text{ bar in either direction}$

Differential pressure at opening

$\leq 30 \text{ mbar}$

VAT Vakuumentile AG, CH-9469 Haag, Switzerland



DN		Ordering numbers		
mm	inch	ISO-KF	CF-F metric threads	CF-F UNF threads
25	1	01028-KE01		
40	1½	01032-KE01	01032-CE01	01032-UE01
50	2	01034-KE01		

VAT Series 10



DN		Ordering numbers			
mm	inch	CF-F metric threads	CF-F UNF threads	ISO-F	ASA-LP
63	2 ½	10836-CE01	10836-UE01	10836-PE01	10836-TE01
80	3	10838-CE01	10838-UE01	10838-PE01	on request
100	4	10840-CE01	10840-UE01	10840-PE01	10840-TE01
160	6	10844-CE01	10844-UE01	10844-PE01	10844-TE01
200	8	10846-CE01	10846-UE01	10846-PE01	10846-TE01
250	10	10848-CE01	10848-UE01	10848-PE01	10848-TE01
320	12	on request	on request	10850-PE01	10850-TE01

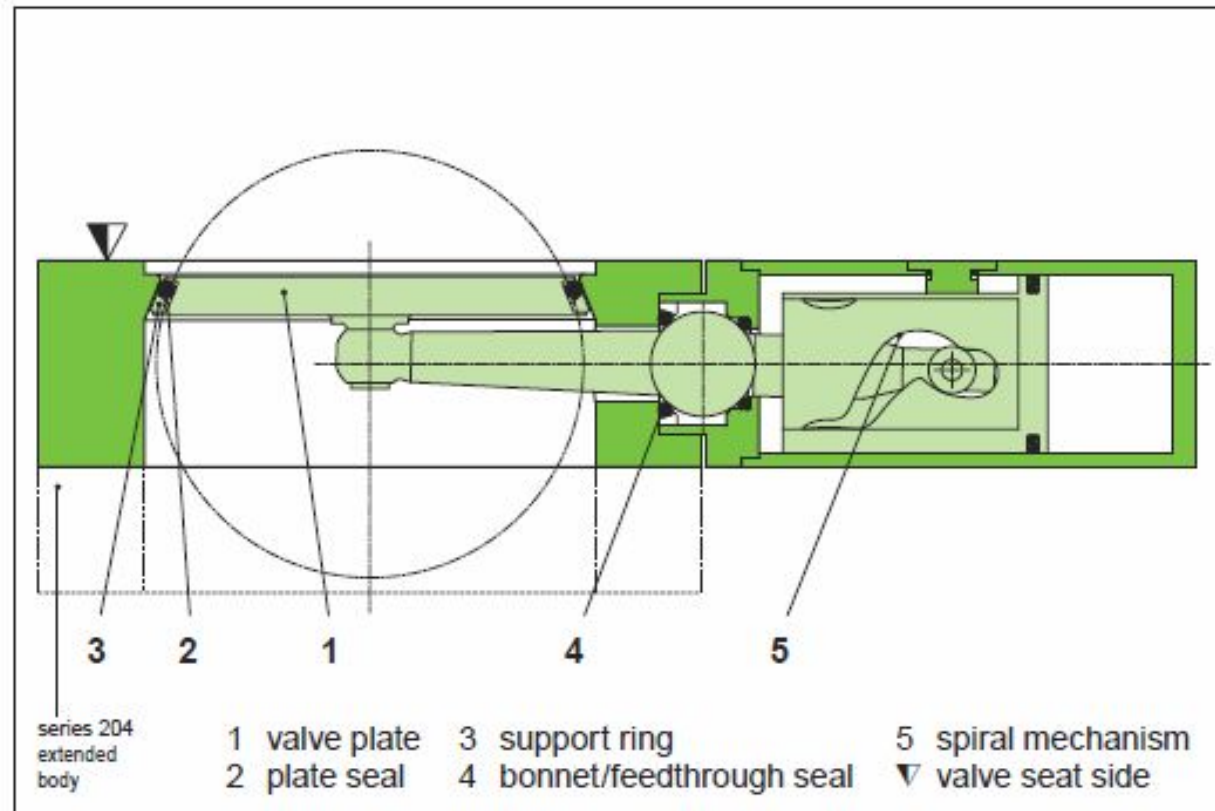
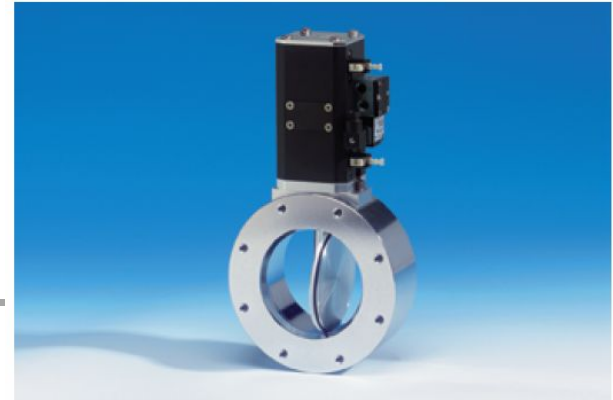


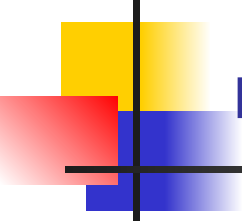
Series 190 HV gate valve



Series 192 UHV gate valve

DN		Ordering numbers (specify control voltage)	
mm	inch	Series 190 HV gate valve ISO-F	Series 192 UHV gate valve ISO-F
400	16	19052-PE44	19252-PE44
500	20	19054-PE44	19254-PE44
630	25	19056-PE44	19256-PE44
800	32	19058-PE44	19258-PE44
900	36	19059-PE44	19259-PE44
1000	40	19060-PE44	19260-PE44
1250	50	19062-PE44	19262-PE44



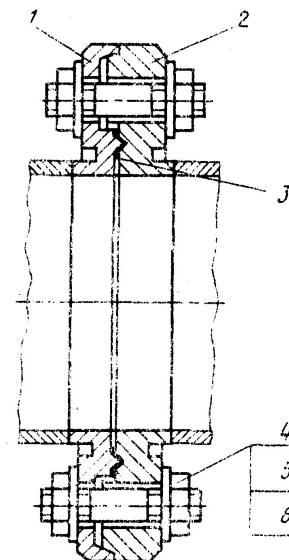
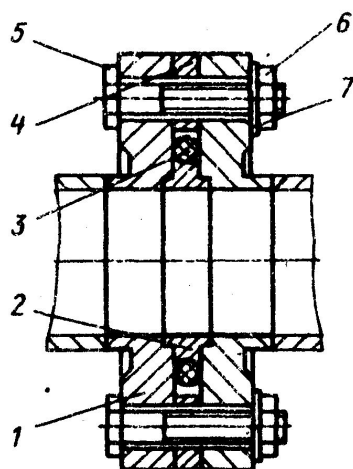
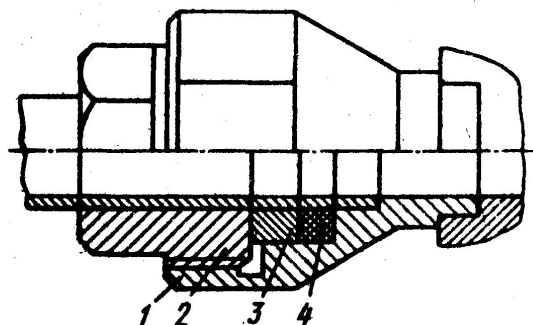
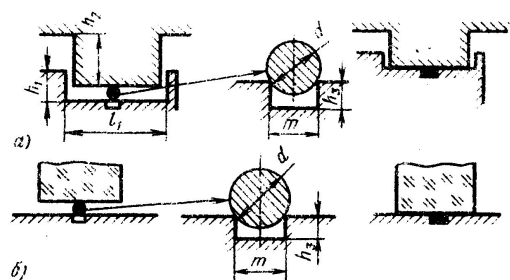


Требования к материалам для изготовления вакуумных систем:

- Иметь давление паров при рабочей температуре значительно меньше рабочего давления;
- Иметь минимальное газо-выделение при рабочей температуре и давлении;
- Обеспечивать вакуумную плотность при малой толщине;
- Быть коррозионно-стойким, иметь повышенные пределы выносливости и текучести.

Например: серебро проницаемо для кислорода, железо, никель, платина - для водорода, стекло – для гелия и водорода, резина – для гелия, водорода и азота...

Разъемные вакуумные соединения



Разъемные вакуумные соединения



DN16KF
DN25KF
DN40KF
DN50KF

Этот тип фланца получил название от сокращений: Quick Flange (QF), Klein Flange (KF) или NW.

Обозначение KF принято в системе ISO, DIN, и Pneurop.

KF фланец изготавливается со специальным пазом для эластичного уплотнителя, надетого на металлическое кольцо.

Крепится фланец с помощью круглого зажима («хомута»).

Стандартные размеры нормируются по номинальному диаметру (DN) проходного отверстия фланца в миллиметрах (от 16 до 50 мм)

Разъемные вакуумные соединения



DN63LF (63.5 мм)
DN100LF (102 мм)
DN160LF (160 мм)
DN200LF (200 мм)
DN250LF (254 мм)
DN320LF (316 мм)
DN400LF (400 мм)
DN500LF (500 мм)

ISO стандарт для фланцев большого размера, известный как LF, LFB, MF, или часто просто ISO фланец. Также как и KF-фланец, ISO-фланец присоединяется с помощью центрального кольца и эластичного кольца-уплотнителя.

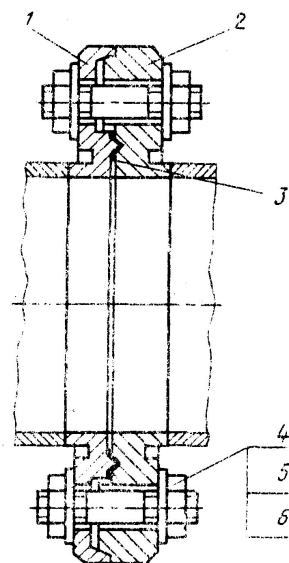
Существует две разновидности ISO-фланцев. ISO-K (или ISO LF) фланцы присоединяются с помощью двузубчатых зажимов, которые зацепляются за круговой паз на поверхности трубки фланца.

ISO-F (или ISO LFB) фланцы имеют отверстия для соединения двух фланцев болтами.

Два ISO-фланца разных типов могут быть соединены вместе зажимом с единственным зубцом со стороны ISO-K, который затем привинчивается болтами к отверстиям на стороне ISO-F.

ISO-фланцы имеют диаметр от 63 до 500 мм (номинальный диаметр проходного отверстия)

Разъемные вакуумные соединения



Для работы с сверхвысоким вакуумом (менее 10^{-6} мбар) используют фланцы типа CF (ConFlat), которые имеют медную прокладку, зажимаемую между острыми выступами фланца. За счет деформации мягкой поверхности меди достигается максимально плотный контакт поверхностей и обеспечивается должный уровень изоляции.

Этот тип фланца может работать с вакуумом вплоть до 10^{-13} мбар (10^{-11} Па) и температуре до 450°C .

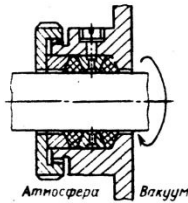
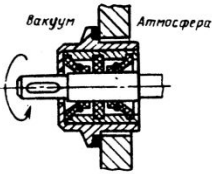
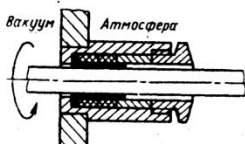
Стандарт США размеров фланца дается в дюймах внешнего диаметра : $1\frac{1}{3}$ («mini»), $2\frac{3}{4}$, $4\frac{1}{2}$, 6, 8, 10, 12, $13\frac{1}{4}$, 14 и $16\frac{1}{2}$. В Европе и Азии размер определяется внутренним диаметром в миллиметрах:

DN16 DN40 DN63 DN100 DN160 DN200 DN250

Ввод напряжения в вакуум

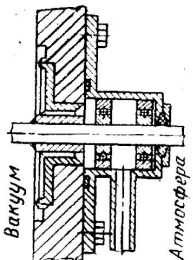
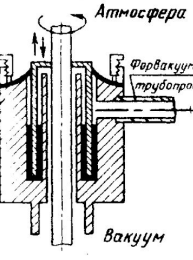
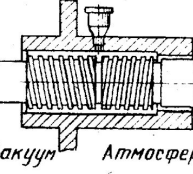


Ввод вращения в вакуум

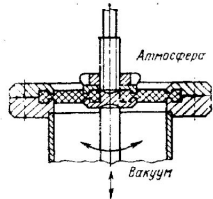
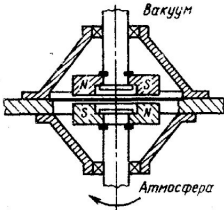
Способ передачи движения	Уплотнение		Принципиальная схема	Ориентировочные допустимые значения			Особенности передачи
	Тип	Вид		$p, \text{Па}$	$n, \text{с}^{-1}$	$M_0 \cdot 10^{-2}, \text{Н} \cdot \text{м/м}$	
Через отверстие в стенке	Сальниковое	Пластичное		10^{-5}	2	70	Уплотнители — фторопласт, асбест, вакуумные резины. Недостаток — необходимость периодического поджима сальника
		Упругое		10^{-4}	50	15	Герметизацию движущегося контакта обеспечивают силы упругости сальника (манжеты с пружинящими кольцами), что позволяет уменьшить площадь движущегося контакта
		Комбинированное		10^{-5}	100	15	Высокие вакуумные свойства эластомеров в сочетании с каким-либо устройством (антимиграционные пояски, кольцевые сорбционные ловушки, поджимы и др.), позволяющим уменьшить поток выделяющихся или натекающих газов

Ввод вращения в вакуум

Через
отвер-
стие
в стенке

Жид- костное	Капил- лярное		10^{-6}	0,2	10	Явление капиллярности позволяет уплотняющей жидкости удерживать атмосферное давление. Применяют хорошо смачивающие жидкости, в частности, легкоплавкие металлы и сплавы (ртуть, галлий, индий, олово, сплав, содержащий 62,5% Ga, 21,5% In, 16% Sn и др.)
	Сифон- ное		10^{-6}	50	2	Гидростатическое давление столба жидкости компенсирует разность давлений в сообщающихся сосудах. Для уменьшения размеров предусмотрена формвакуумная полость. Работает только в вертикальном положении
	Импел- лерное		10^{-4}	100	70	Включает устройства для принудительной подачи жидкости к краю или середине зазора, где находится резервуар с этой жидкостью. Необходимы дополнительные уплотнения для обеспечения герметичности в статических условиях

Ввод вращения в вакуум

Способ передачи движения	Уплотнение		Принципиальная схема	Ориентировочные допускаемые значения			Особенности передачи
	Тип	Вид		$p, \text{Па}$	$n, \text{с}^{-1}$	$M_0 \cdot 10^{-2}, \text{Н} \cdot \text{м/м}$	
Через сплошную стенку	С эластичной стенкой	Мембранное		10^{-5}	50	5	Мембраны из эластомерных материалов (часто из вакуумной резины)
		Магнитное		10^{-8}	50	0,05	Принцип магнитного притяжения разноименных полюсов постоянных магнитов, разделенных немагнитной герметизирующей стенкой, один из которых закреплен на ведущем валу в атмосфере, а другой — на ведомом валу в вакууме