



# Получение вакуума

---

1. Физические свойства
2. Измерение вакуума
3. **Получение вакуума**
4. Компоненты вакуумных систем



# Классификация вакуумных насосов

---

по принципу действия:

- **механические**
- физико-химические

по назначению:

- Низковакуумные (форвакуумные)  $10^{-2}$  – 760 Торр
- **Высоковакуумные (техн. вакуум)  $10^{-6}$  -  $10^{-2}$  Торр**
- Сверхвысоковакуумные  $< 10^{-6}$  Торр

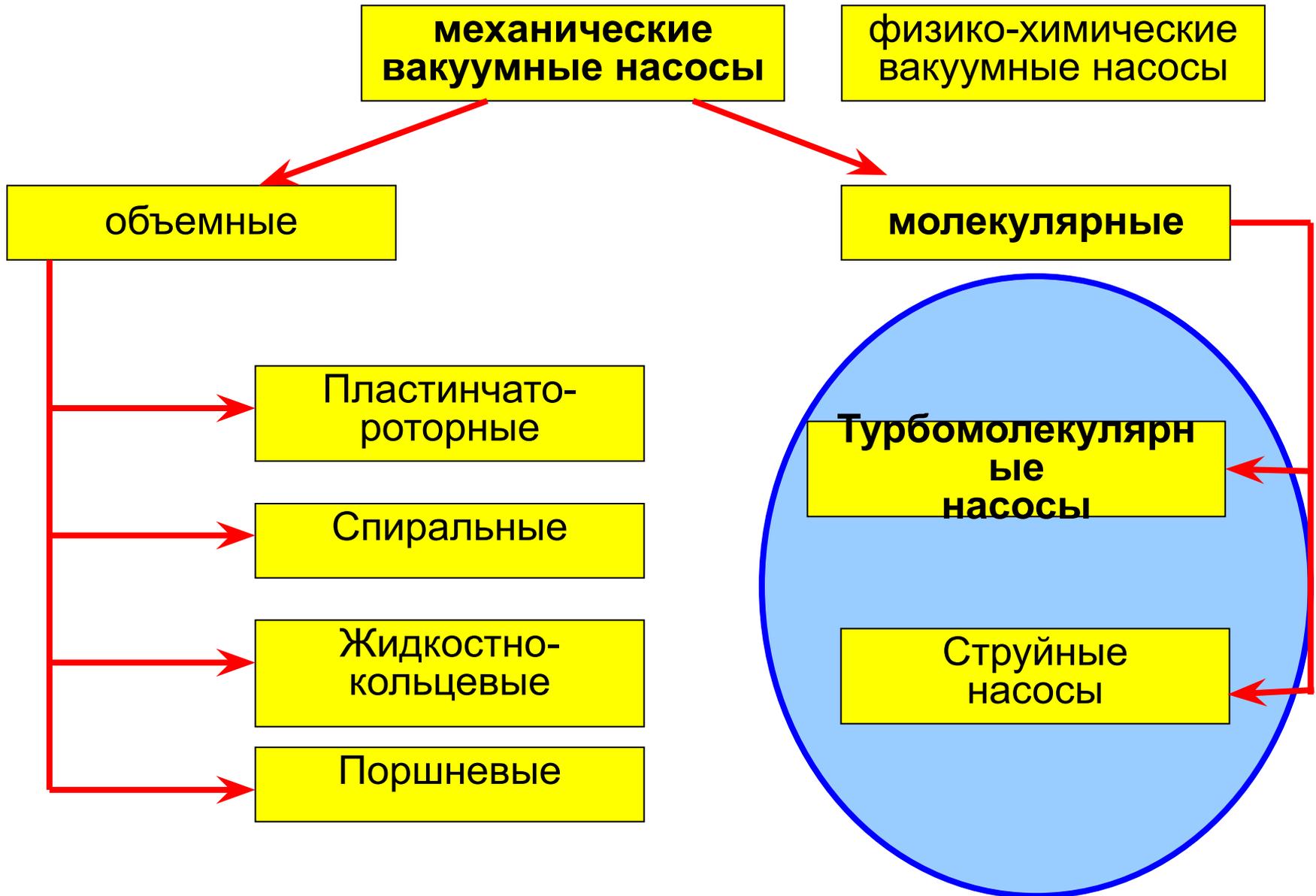


## Классификация механических вакуумных насосов по принципу откачки:

---

- **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

# Классификация вакуумных насосов по принципу действия





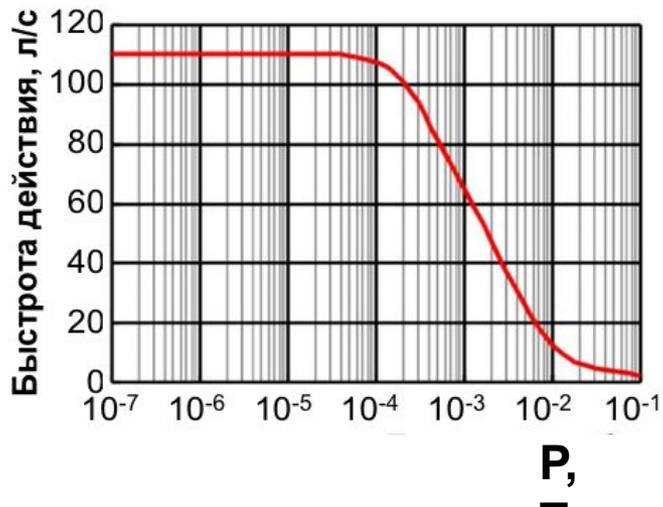
# Турбомолекулярный насос

---

Вакуумный насос, действие которого основано на сообщении молекулам откачиваемого газа дополнительной скорости при соударении их с быстро вращающимся ротором.

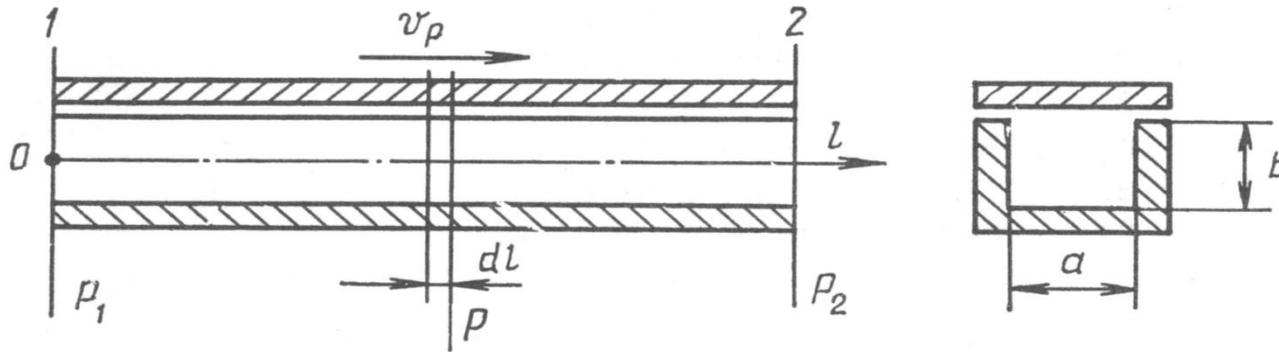
Они имеют много конструктивных разновидностей:

- цилиндрические,
- дисковые,
- конические и др.



Минимальное предельное давление от  $10^{-4}$  до  $10^{-14}$  Торр.

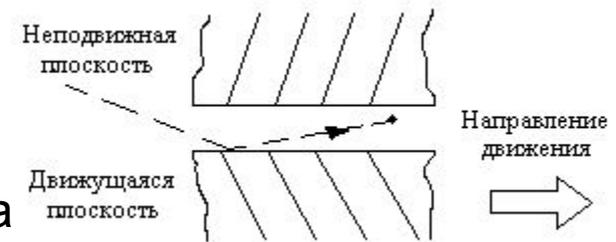
# Принцип молекулярной откачки



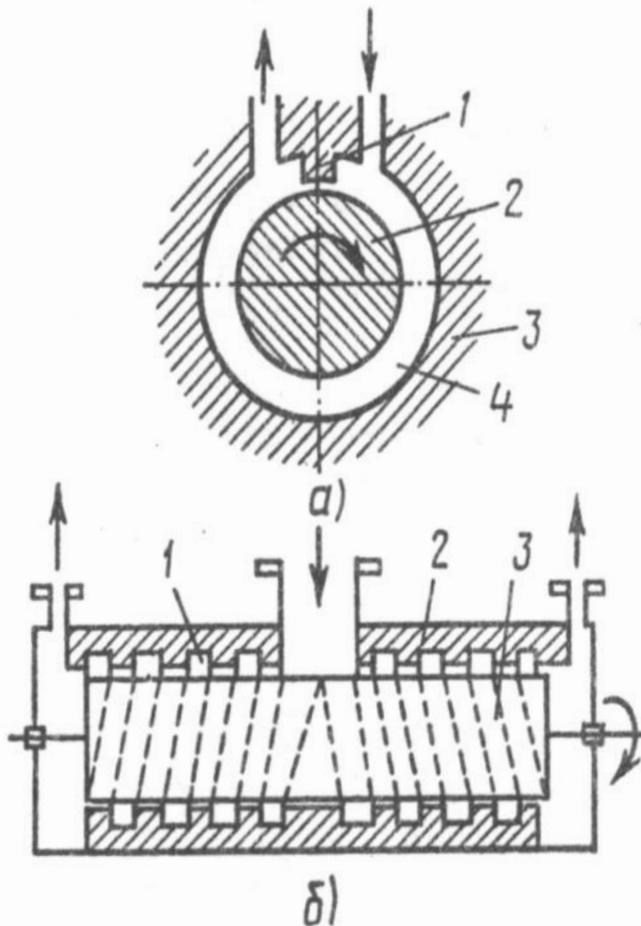
Создается перепад давлений  $p_2 > p_1$  максимальная быстрота действия пропорциональна скорости:

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

$F_k$  - площадь поперечного сечения канала,  
 $\gamma$  - коэффициент, учитывающий соотношения движущейся и неподвижной частей периметра канала  
 Насос обеспечивает получение больших коэффициентов компрессии при малых скоростях откачки ( $10^{10}$ ).



# Цилиндрический турбомолекулярный насос

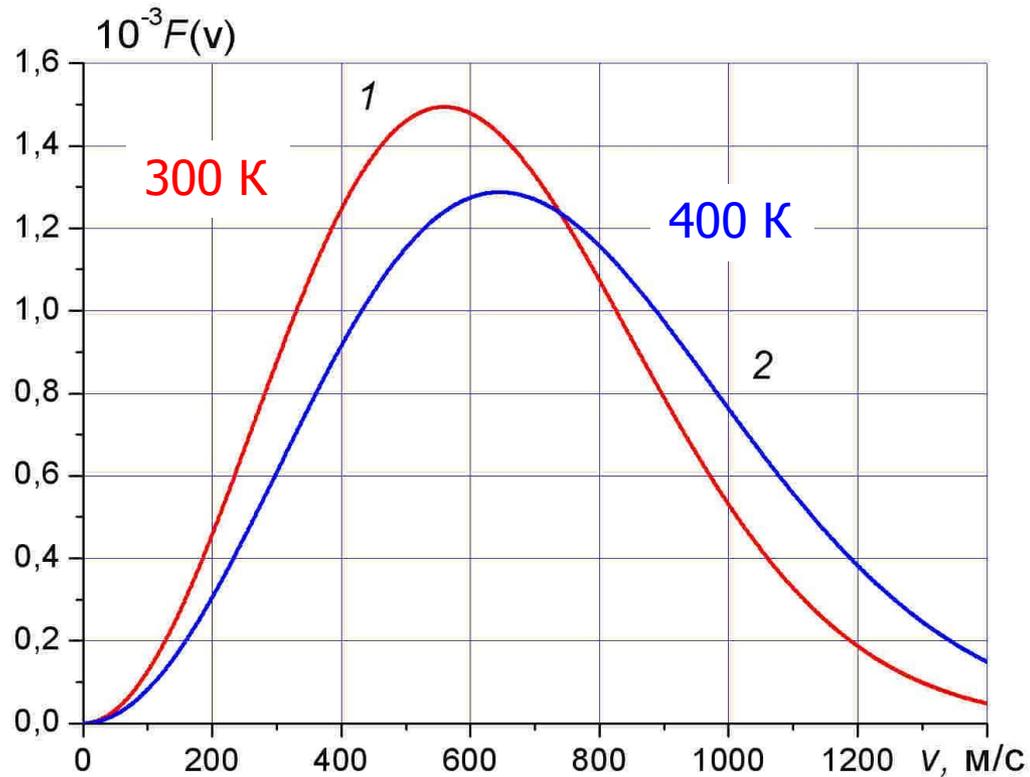


Цилиндрический насос имеет в статоре 3 набор цилиндрических канавок 4, входные и выходные отверстия в которых разделены перегородкой 1.

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.

# Распределение Максвелла

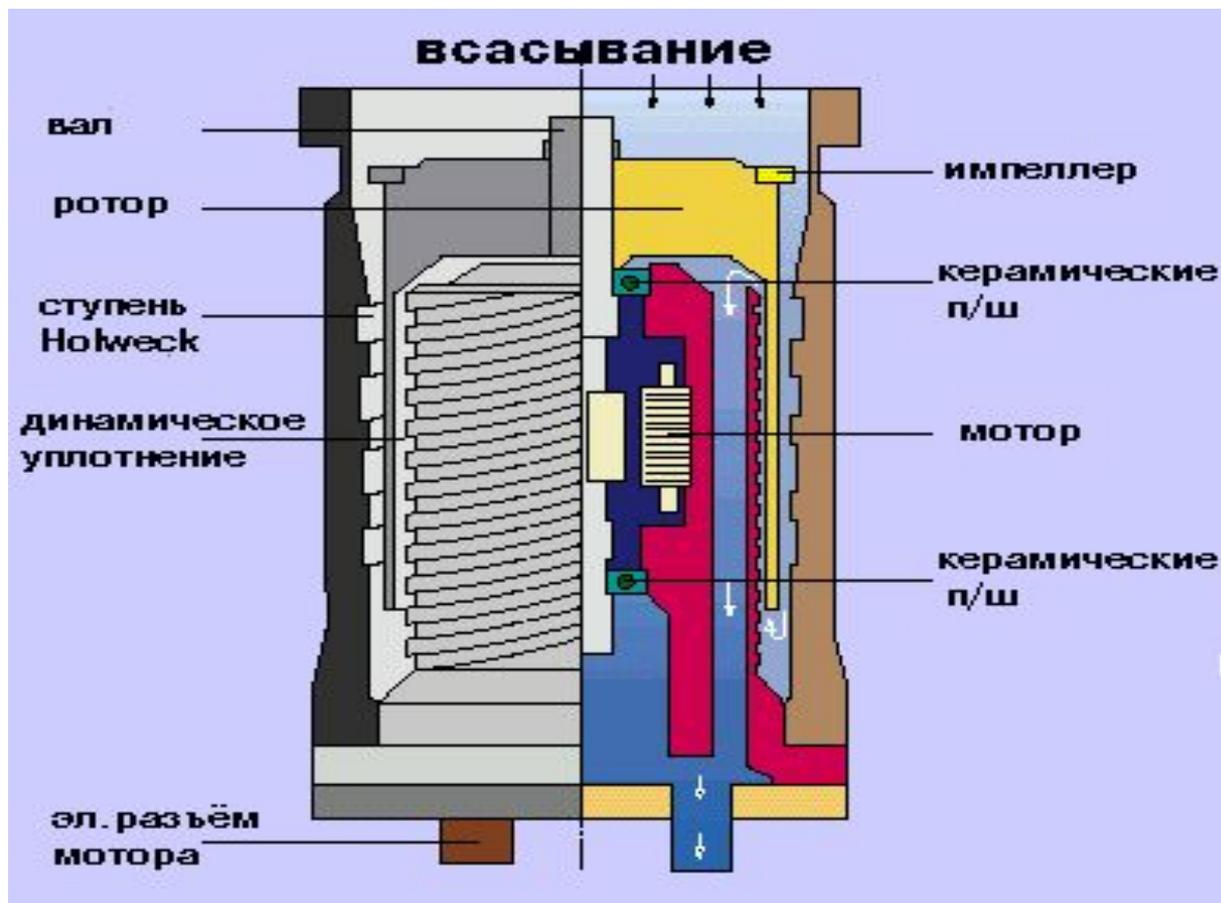
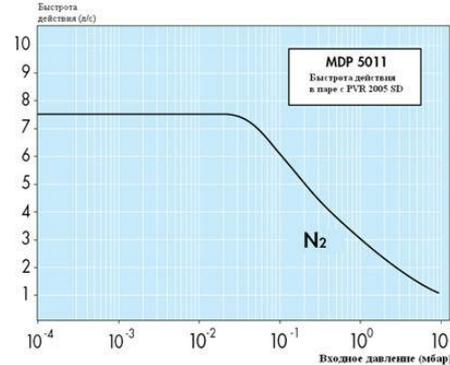


$$\frac{mV_{cp}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

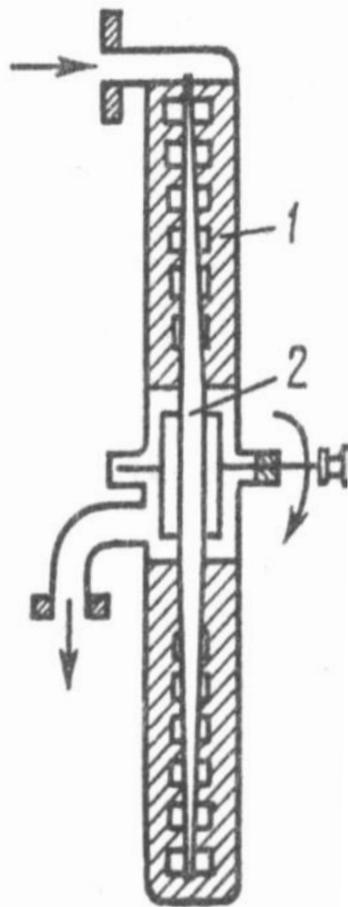
Распределение молекул метана по скоростям (функция Максвелла)

# Турбомолекулярные насос MDP5011

Adixen by Pfeiffer Vacuum



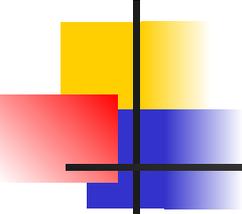
## Дисковый турбомолекулярный насос



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

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

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



## Турбомолекулярный насос

---

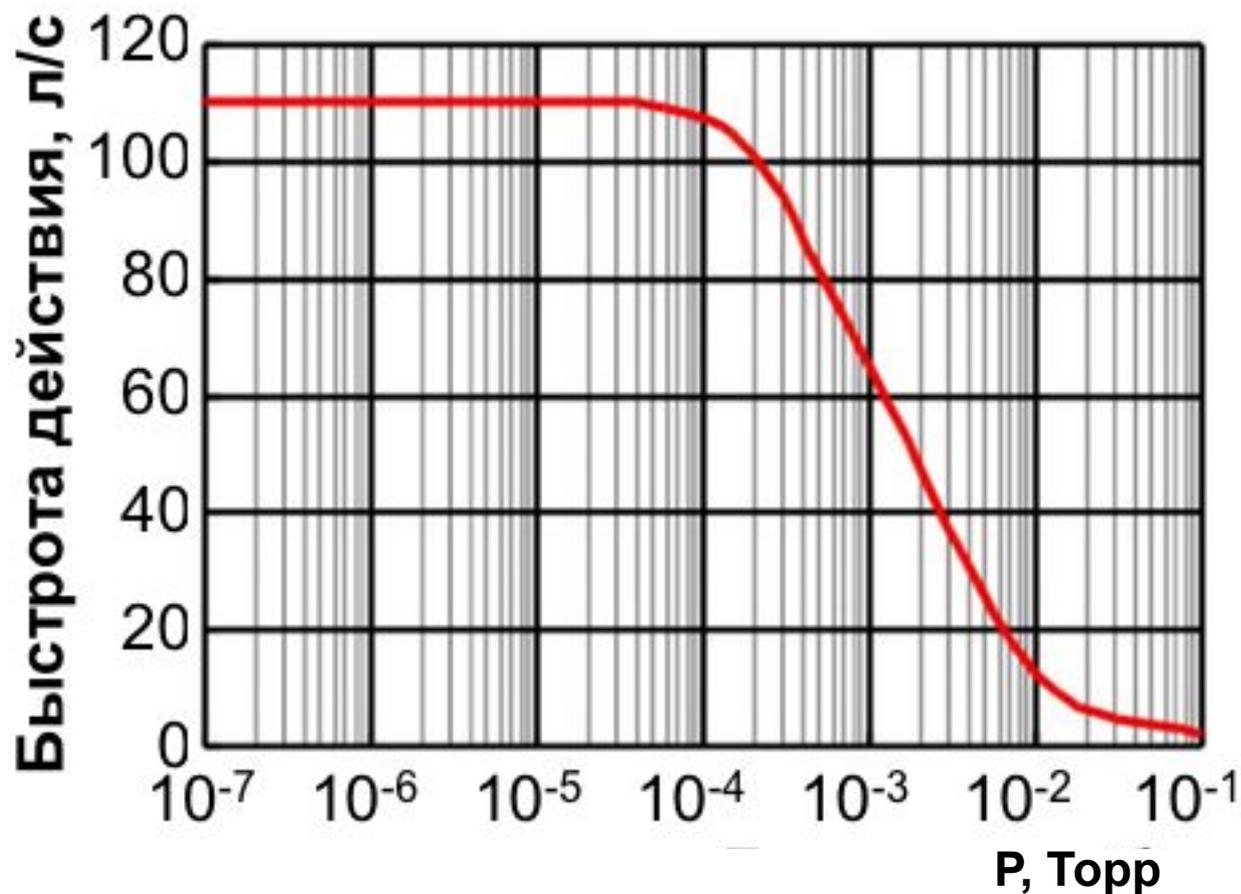
Практическое применение такие насосы нашли в качестве ступеней высокого вакуума, а также при откачке газов с большой молекулярной массой.

Проникновение паров масел, применяемых для смазки подшипниковых узлов, в откачиваемый объект во время работы насоса очень мало.

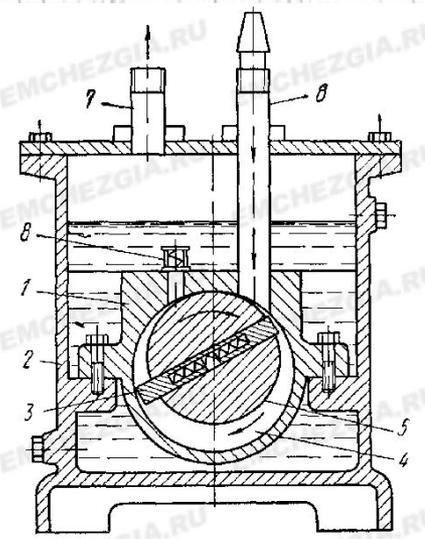
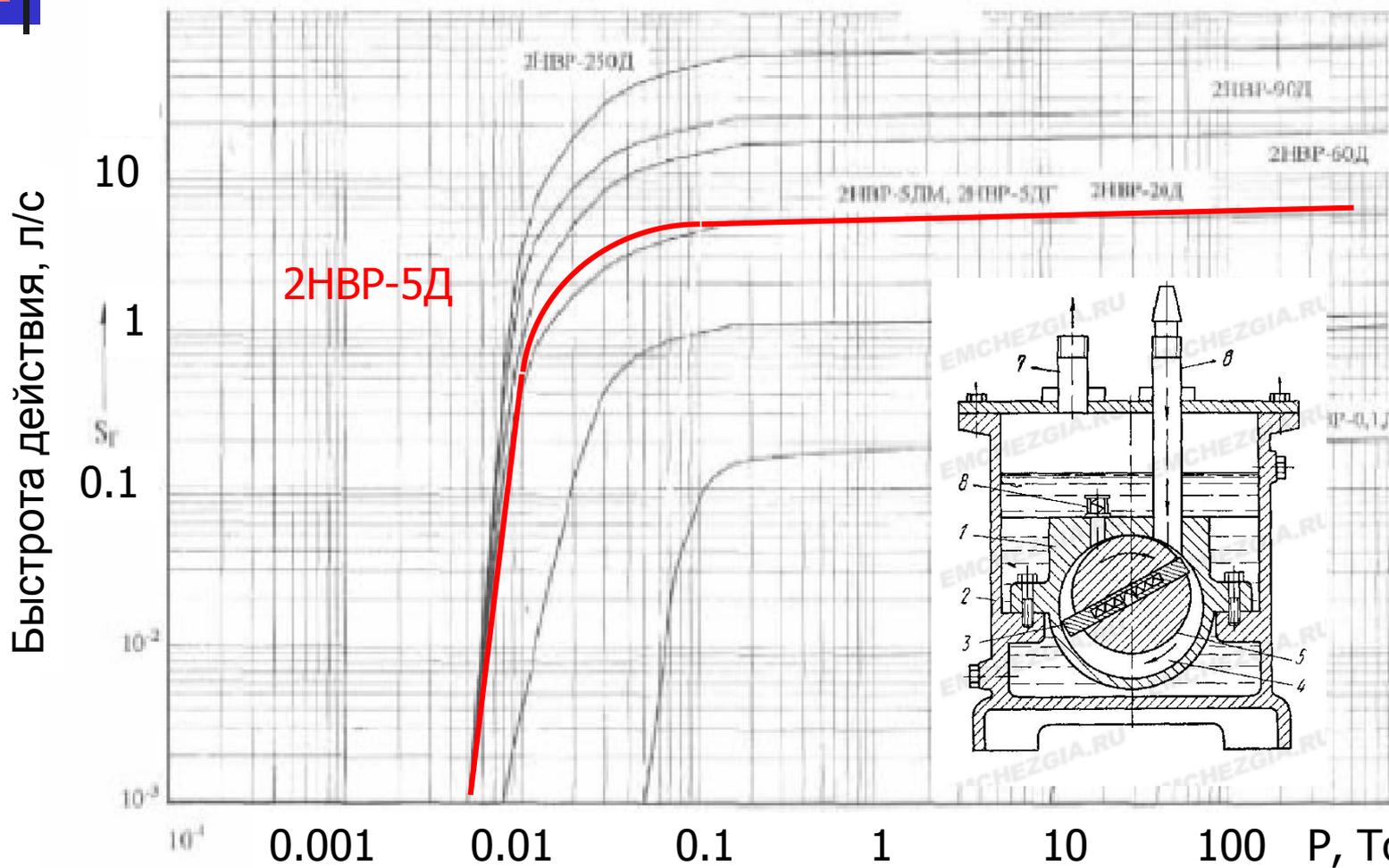
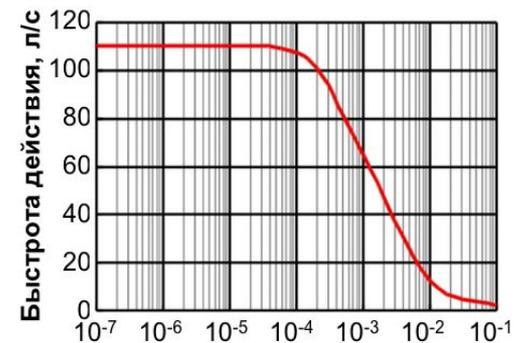
Быстрота действия насосов прямо пропорциональна частоте вращения ротора, которая в современных насосах может достигать **10 - 40 тыс. оборотов в минуту.**

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

# Насос турбомолекулярный безмасляный КУКУ FF-100/110E



# Пластинчато-роторные насосы

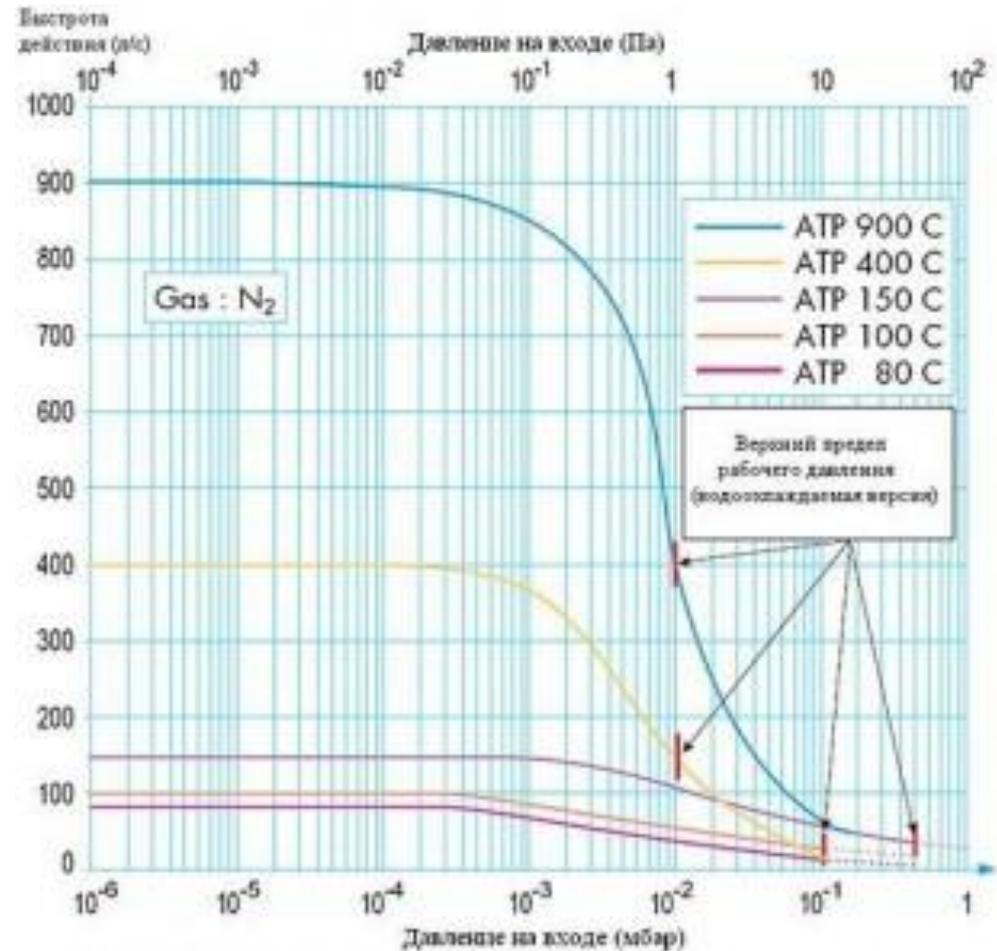


Р,  
Т  
о  
р  
р

# Турбомолекулярный насос ATP 900 C Turbo Pump



Rotation Speed: 27000 rpm  
Start-up Time: 3 min



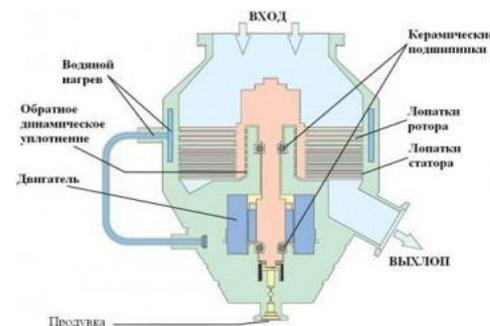
# Турбомолекулярный насос

Конструкция турбомолекулярного насоса во многом определяется расположением вала ротора:

- горизонтальным,
- вертикальным

Формой рабочих органов:

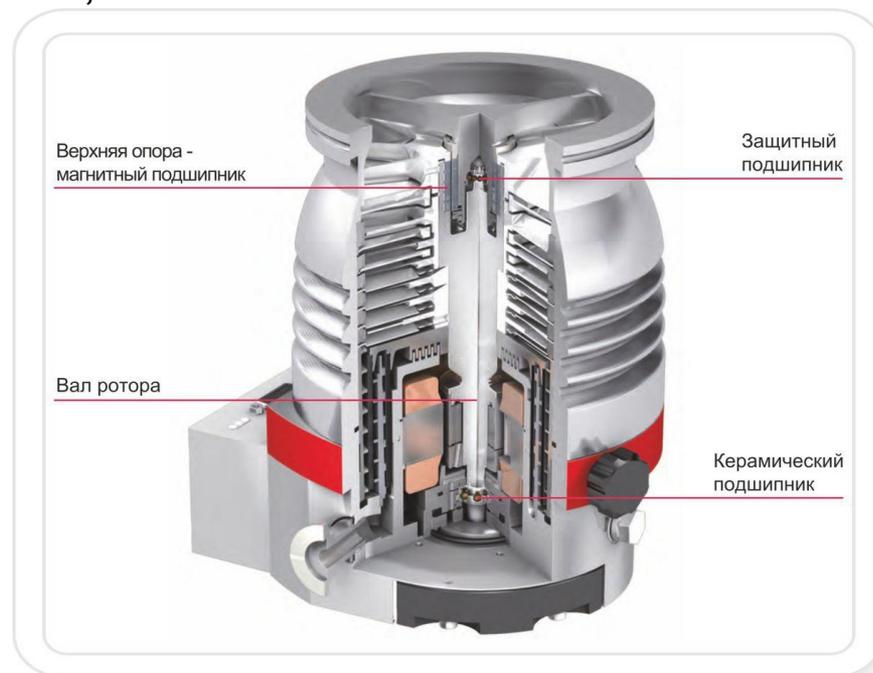
- цилиндровые,
- конусные,
- дисковые с радиальным потоком,
- дисковые с осевым потоком,
- барабанные.



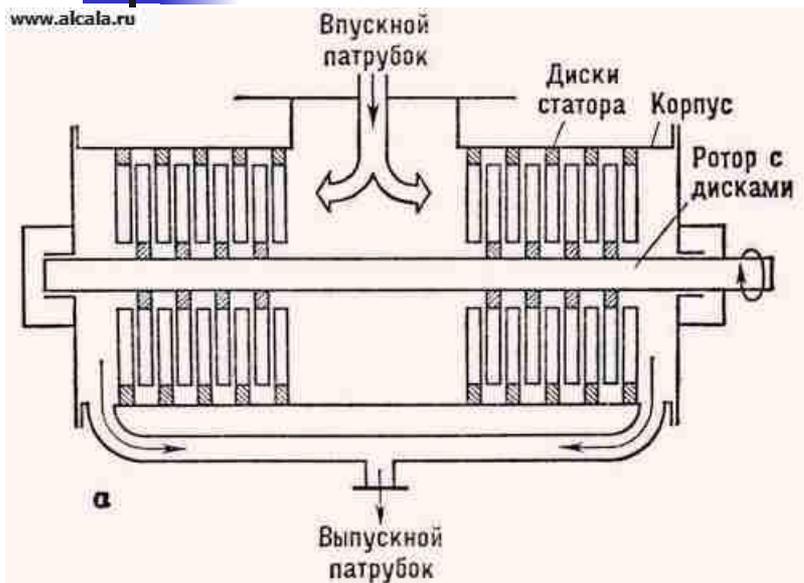
# Турбомолекулярный насос

Большое влияние на характеристики насоса оказывает конструкция опорных узлов:

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



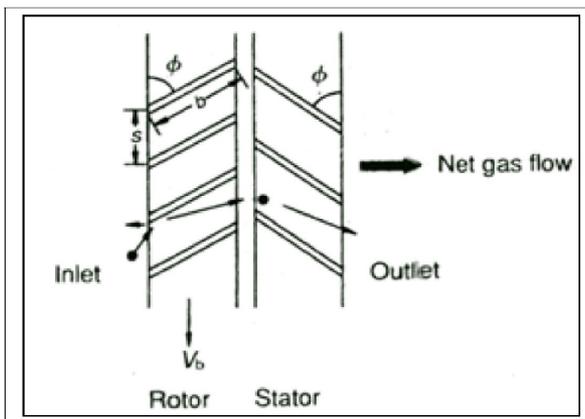
# Многодисковый турбомолекулярный насос



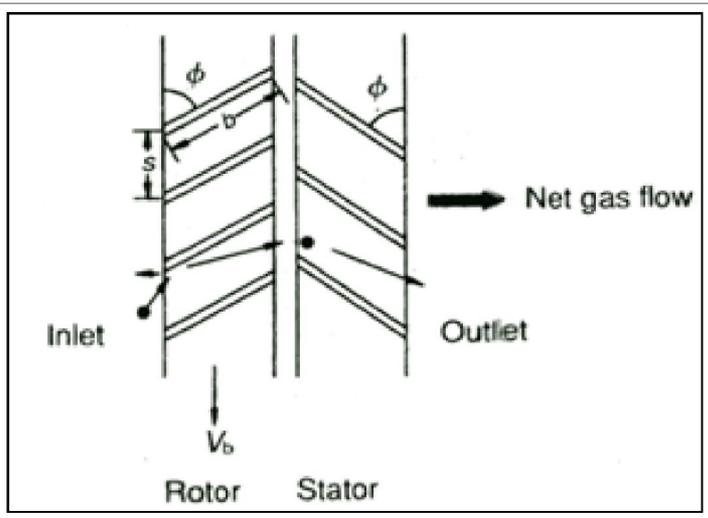
В корпусе горизонтального насоса установлены неподвижные статорные колеса, между которыми вращаются колеса, закрепленные на роторе.

Роторные колеса выполняются в виде **дисков с прорезями**. В статорных колесах имеются зеркально расположенные прорези такой же формы.

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



# Многодисковый турбомолекулярный насос



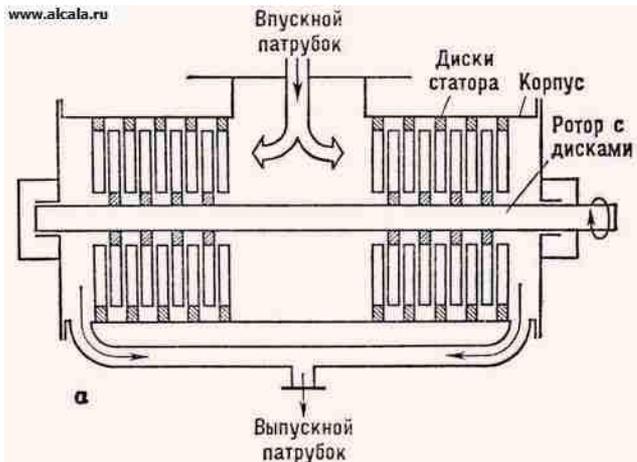
- Для установившегося режима течения газа

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

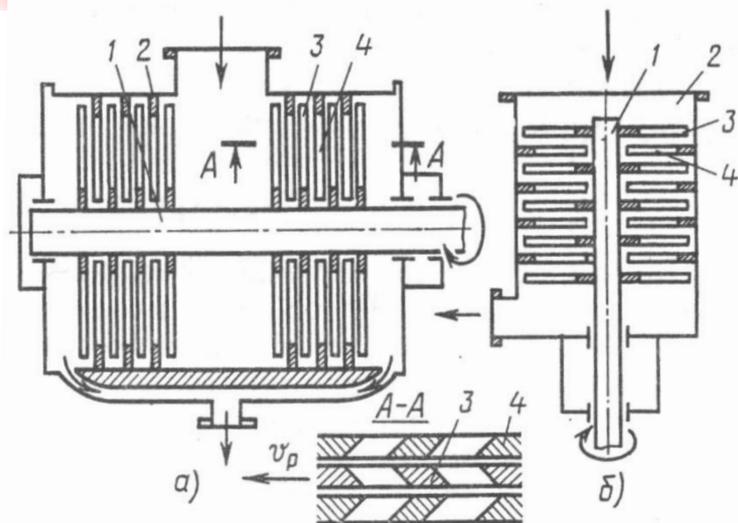
$U_{12}$  и  $U_{21}$  проводимости каналов для потоков  $q_1$  и  $q_2$  соответственно.

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.



# Многодисковый 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.

## Достоинства турбомолекулярных насосов:

- Большой диаметр входного отверстия,
- Получение высокого **безмасляного** вакуума;
- Быстрый запуск и остановка.
- Имеют высокую быстроту откачки газов с малой молекулярной массой;

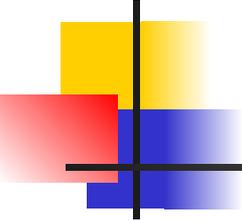




## Недостатки турбомолекулярных насосов:

---

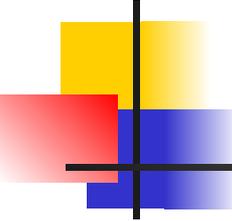
- наличие высокоскоростного ротора со смазыванием быстроизнашивающихся подшипников;
- сложные системы подвеса ротора;
- наличие преобразователя напряжения для питания высокооборотного электродвигателя;
- сложность изготовления и относительно высокая цена.



## 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](http://www.tako-vakuum.ru/pumpen_turbomolekular_01.php#punkt_STP)

- CCS Services, Швейцария

<http://www.ccsservices.ru/Vacuum/Vacuum2.html>

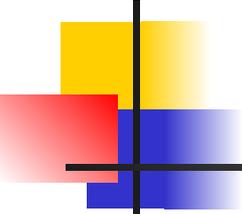
## Параметры турбомолекулярных насосов производства ООО «Призма»:

Техническая характеристика	НВТ-100-041	НВТ-100-042	НВТ-450-01	НВТ-1000-029	01 АБ-1500-004
Быстрота действия, л/с	100	100	400	1000	720
Предельное остаточное давление на входе, Торр	$1 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-12}$
<b>Время разгона, мин</b>	5	5	6	20	20
Частота вращения, об/мин	30 000	30 000	24 000	21 000	21 000
Потребляемая мощность, Вт	100	100	1200	1200	1500
Габаритные размеры, мм*	140·140·175	152·152·195	250*250*265	320x320x280	420x420x430
Масса, кг	5,5	7,5	25	30	58
Рекомендуемый форвакуумный насос	ЗНВР-1Д	ЗНВР-1Д	2НВР-5ДМ	2НВР-5ДМ	НВР-16Д

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







15.08-61.159П. Турбомолекулярный вакуумный насос. Turbomolecular pump: Пат. 8790071 США, МПК F01D 1/02 (2006.01), F04D 29/32 (2006.01). *Oishi Kouta, Shimadzu Corp. № 13/122344*; Заявл. 05.10.2009; Опубл. 29.07.2014; Приор. 03.10.2008, № 2008-258054 (Япония); НПК 415/90. Англ.

Производительность патентуемого многоступенчатого турбомолекулярного вакуумного насоса с ротором в магнитных подшипниках повышена за счет перем. шага и угла атаки лопаток, размещенных между статорными турбинными пластинами крыльчаток из алюминиевого сплава. Ил. 8.

В.А. Грушников