

Механический вакуумный насос. Лабораторная работа I по курсу  
"Вакуумная техника".  
Москва, изд. МИЭМ, с. 12

Составители: Н. Я. Дривинг  
канд. техн. наук Ю. Д. Плотников

© Московский институт электронного машиностроения, 1983.

## МЕХАНИЧЕСКИЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС

### Цель работы:

ознакомиться с принципом действия, конструкцией и техническими характеристиками механического насоса с масляным уплотнением.

### Содержание работы:

- ознакомиться с элементами простейшей вакуумной установки,
- научиться вводить в действие вакуумную установку,
- снять зависимость давления газа от времени откачки технологического объема,
- рассчитать зависимость скорости действия и производительности насоса от давления газа на его впускном патрубке.

### Теоретические основы работы механического насоса

Механические вакуумные насосы действуют на принципе вытеснения газа из рабочей камеры вследствие периодического изменения ее объема.

Если представить себе рабочее пространство насоса как камеру с подвижным поршнем (рис. 1), то при увеличении объема камеры она начинает наполняться газом вследствие уменьшения давления (процесс наполнения). Затем объем камеры уменьшается, а сжимаемый газ вытесняется через выходное отверстие (процесс удаления).

Схематично рабочая камера вытеснительного насоса представлена на рис. 1.

Объем камеры у такого насоса увеличивается с  $V_{min}$  до  $V_{max}$ . Тогда давление газа уменьшается от  $P_0$  до  $P_1$  соответственно уравнению

$$P_0 \cdot V_0 = P_1 \cdot V_1 \quad (V_1 = V_{max} + V_{min}). \quad (1)$$

Таким образом, объемный насос при каждом цикле откачки удаляет один и тот же объем газа при давлении, которое поддерживается в откачиваемом пространстве, причем масса газа по мере уменьшения давления уменьшается.

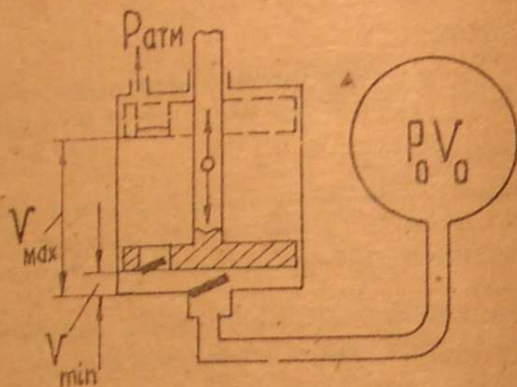


Рис. 1. Схема работы поршневого объемного насоса

Следовательно, после  $n$  циклов откачки давление газа будет равно

$$P_n = P_0 \left( \frac{V_{min}}{V_{min} + V_{max}} \right)^n \quad (2)$$

Принимая  $V_{max} \gg V_{min}$ , выражение для  $P_n$  будет иметь вид

$$P_n = P_0 \left( \frac{V_{min}}{V_{max}} \right)^n \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что при  $n \rightarrow \infty$   $P \rightarrow 0$

Однако в этом выражении не учитывается обратный поток газа, который и определяет предельное разрежение в объеме насоса.

#### Частота действия вытеснительного насоса

Если объем камеры изменяется от  $V_{min}$  до  $V_{max}$  с частотой  $n$  в единицу времени, то полный объем газа, отводимого в единицу времени, будет равен

$$S_k = \frac{dV}{d\tau} = n(V_{max} - V_{min}) \quad (4)$$

Учитывая, что  $V_{max} \gg V_{min}$ , принимаем

$$S_k = n \cdot V_{max} \quad (4a)$$

Поток газа из объема в насос составляет

$$Q_{\uparrow} = S_k \cdot P_0 = n \cdot V_{max} \cdot P_0 \quad (5)$$

С другой стороны, в момент вытеснения газа из камеры насоса объем  $V_{min}$  содержит газ при давлении  $P_{вых}$  в количестве  $V_{min} \cdot P_{вых}$ , который представляет собой обратный (возвратный) поток, равный

$$Q_{\downarrow} = n \cdot V_{min} \cdot P_{вых} \quad (6)$$

В таком случае производительность насоса  $Q_H$  равна

$$Q_H = Q_{\uparrow} - Q_{\downarrow} = n \cdot V_{max} \cdot P_0 - n \cdot P_{вых} \cdot V_{min} \quad (7)$$

После преобразования выражения (7) получаем значение скорости действия насоса  $S_H$ :

$$S_H = \frac{Q_H}{P_0} = S_k \left( 1 - \frac{P_{вых} \cdot V_{min}}{P_0 \cdot V_{max}} \right) \quad (8)$$

Принимая значение  $P_{пред.}$

$$P_{пред.} = P_{вых} \cdot \frac{V_{min}}{V_{max}}$$

$$S_H = S_k \left( 1 - \frac{P_{пред.}}{P_0} \right) \quad (8a)$$

где  $P_{пред.}$  — предельное остаточное давление газа, создаваемое

вакуумным вытеснительным насосом.

Графическое представление зависимости  $S_H = f(p)$ ,  $Q_H = f(p)$  приведено на рис. 2.

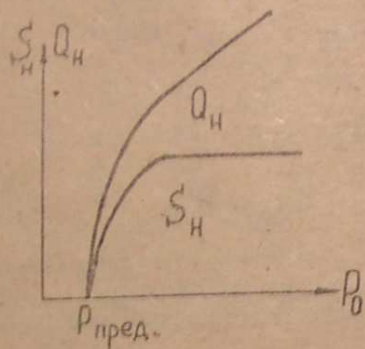


Рис. 2. Характеристики откачки механических вытеснительных насосов

Анализ выражения для скорости действия насоса  $S_H$  показывает, что совершенствование насоса должно идти по пути:

- уменьшения вредного ("мертвого") объема  $V_{\text{м.т.}}$ ,
- повышения давления  $P_{\text{вых.}}$  (последовательное соединение камер в одном насосе).

#### • Конструкция механических вытеснительных насосов

Наиболее широкое применение в вакуумной технике для создания низкого вакуума (с  $10^{-5}$  Па до  $10^{-2}$  Па) нашли механические вытеснительные насосы с вращательным движением поршня (ротационные).

По своему конструктивному оформлению механические насосы подразделяются на три группы:

- пластинчато-роторные (лопастные),
- пластинчато-статорные,
- плунжерные (золотниковые).

Основные конструктивные элементы и рабочие органы насосов показаны на рис. 3.

Как видно из рис. 3, основной конструктивной особенностью ротационных вытеснительных насосов является периодическое изменение объема рабочей камеры насоса, при увеличении которого газ

наполняет камеру (такт всасывания газа), а при уменьшении объема камеры происходит сжатие газа и вытеснение его через выходной клапан, когда давление газа  $P$  превышает  $P_{\text{атм.}}$  (такт выталкивания газа).

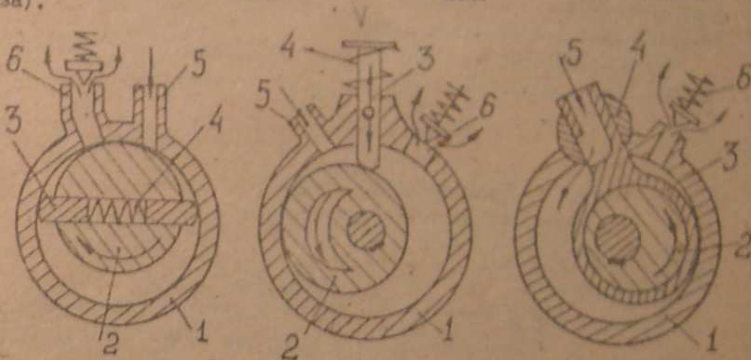


Рис. 3. Схема работы вращательных насосов.

- пластинчато-роторный насос: 1 - статор, 2 - ротор, 3 - пластины разделительные, 4 - пружина, 5 - впускной патрубок, 6 - выпускной клапан;
- пластинчато-статорный насос: 1 - статор, 2 - ротор, 3 - разделительная пластина, 4 - пружина, 5 - впускное отверстие, 6 - выпускной клапан;
- плунжерный насос: 1 - статор, 2 - эксцентрик, 3 - плунжер, 4 - золотник, 5 - впускное отверстие, 6 - выпускной клапан.

Во всех вращательных механических насосах предусматривается применение специальных сортов масел ВМ-4 и ВМ-6, необходимость в котором диктуется следующими соображениями:

- смазка вращающихся и трущихся рабочих органов насоса во избежание быстрого истирания их поверхностей и увеличения зазоров,
- охлаждение рабочих органов и корпуса насоса во избежание перегрева (в критическом случае - заклинивания насоса),
- предотвращение обратного потока газа благодаря заполнению маслом микронеровностей (шероховатостей) на поверхностях ротора и статора и образования пленки масла.

К маслам, применяемым в вакуумных вращательных насосах, предъявляются повышенные требования к их плотности и вязкости, а

давление паров масла при рабочих температурах насоса ( $50+60^{\circ}\text{C}$ ) не должно превышать  $5 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^{-3}$  Па. В этом состоит принципиальное отличие вакуумных масел от обычных сортов, применяемых исключительно для смазки деталей.

Промышленностью выпускается ряд вращательных насосов (табл. I), отличающихся производительностью (или скоростью откачки).

Таблица I

Технические характеристики механических форвакуумных насосов

Тип насоса	Характеристики насосов			
	$\dot{S}_H$ , л/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	$P_{\text{пред}}$ , Па	мощность, кВт	масса насоса, кг
ННР-0,25Д	0,25 ( $2,5 \cdot 10^{-4}$ )	0,5	0,18	16,5
ННР-0,5Д	0,5 ( $5 \cdot 10^{-4}$ )	0,5	0,27	26,5
ННР-1Д	1,0 ( $1 \cdot 10^{-3}$ )	0,5	0,40	38,0
ННР-3Д	3,0 ( $3 \cdot 10^{-3}$ )	0,5	0,60	67,5
ННР-5Д	6,0 ( $6 \cdot 10^{-3}$ )	0,5	1,10	75,0
НН-1МТ	18,0 ( $1,8 \cdot 10^{-2}$ )	0,5	3,0	282
НН-4Г	40,0 ( $4 \cdot 10^{-2}$ )	0,5	7,5	677
НН-6Г	150 ( $1,5 \cdot 10^{-1}$ )	0,5	22,0	1490

Оборудование и методика

Лабораторный стенд для измерения откачных характеристик насоса, схема которого показана на рис. 4, представляет собой вакуумную систему, состоящую из металлической камеры (3) объемом  $0,02 \text{ м}^3$  с присоединенным к ней механическим вакуумным насосом 2ННР-5Д (1). Вакуумная система снабжена вентилем (2) для перекрытия трубопровода, соединяющего камеру с насосом, и клапаном (5) для напуска воздуха в камеру. Измерение давления газа в камере производится деформационным манометром (6) и термоманометрическим преобразователем ПМТ-2 (4).

Для определения откачных характеристик насоса в данной лабор...

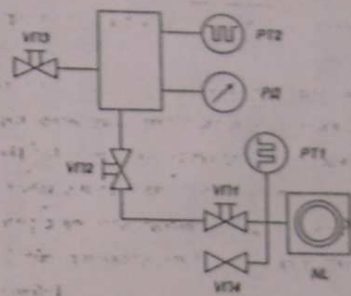


Рис. 4. Схема вакуумного поста на базе механического вытеснительного насоса NL - механический вакуумный насос; CV - рабочая камера; VН1, VН2 - вентили; VН3 - вентиль для напуска атмосферы; VН4 - клапан для напуска атмосферы в камеру; РД - деформационный манометр; PT1, PT2 - термоманометрические преобразователи.

раторной работе используется метод возрастающего объема, сутью которого заключается в том, что насос присоединяется к измерительной камере с известным объемом  $V$ , и затем определяется зависимость давления в камере от времени откачки  $P_{\text{ка}} = f(t)$ , которая описывается формулой

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{S}{V} \tau} \quad (9)$$

где  $P$  - текущее значение давления газа, Па;

$P_0$  - исходное давление, Па;

$S$  - быстрота действия насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V$  - объем камеры,  $\text{м}^3$ ;

$\tau$  - время изменения давления газа от  $P_0$  до  $P$ , с.

В соответствии с формулой (9) кривая откачки объема  $V$  построена на полупологарифмическом масштабе, представляет собой на начальном участке прямую с наклоном, переходящую по мере приближения  $P$  к  $P_{\text{атм}}$  в кривую, асимптотически приближающуюся к прямой, параллельной оси времени.

Полученная опытным путем временная зависимость давления укладывается на участки, в пределах которых она достаточно точно может быть аппроксимирована прямой. Справедлив значительный...

действия насоса  $S_H$  на каждом из участков, применив формулу (9) в преобразованном виде:

$$S = \frac{V}{\tau} \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (9a)$$

где  $P_1, P_2$  - соседние значения давления газа, Па.

По вычисленным значениям строится зависимость  $S_H = f(P)$ , где  $P$  - давление газа, измеренное в камере.

При расчете производительности насоса  $Q_H$  пользуемся соотношением

$$Q = S \cdot P, \quad (10)$$

где  $Q$  - поток газа, Па·м<sup>3</sup>/с;  
 $S$  - скорость действия насоса, м<sup>3</sup>/с;  
 $P$  - давление газа в камере, Па.

#### Порядок выполнения работы.

1. Убедившись, что вентиль (2) и клапан (5) закрыты, включить механический насос (1) тумблером "мех.насос".
2. Через 1+2 минуты после включения мех.насоса открыть вентиль (2) и начать отсчет времени откачки газа из камеры (3) по секундомеру.
3. С момента открытия вентиля (2) и до получения вакуума не ниже  $10^3$  Па регистрировать показания деформационного манометра (6), а при дальнейшем увеличении вакуума и до получения предельного остаточного давления  $P_{пред}$  в рабочей камере пользоваться термометрическим манометрическим преобразователем ПМТ-2 (см. методические указания по лаб.практикуму "Термометрические и электронные ионизационные вакуумметры").
4. Экспериментальные данные записать в сводную таблицу согласно форме табл.3.
5. Используя экспериментальные данные, рассчитать значения  $S_H$  и построить графические зависимости:

$$P = f(\tau), S_H = f(P), Q_H = f(P).$$

#### Форма отчета

В отчете должны быть представлены:

1. Схема установки (в условных обозначениях).
2. Эскиз рабочей камеры механического вакуумного насоса.
3. Таблица числовых значений экспериментально найденных и расчетных величин.

$\tau, c$	
$P, Па$	
$S_H, \frac{м^3}{c}$	
$Q_H, \frac{Па \cdot м^3}{c}$	

4. Графики изменения давления газа в рабочей камере в зависимости от времени откачки  $P = f(\tau)$ , а также скорости откачки  $S_H$  и производительности насоса  $Q_H$  в функции от давления газа в камере.

#### Вопросы к занятию.

1. В чем состоит принцип действия механического вакуумного насоса?
2. Факторы, определяющие скорость откачки механического вентильного насоса?
3. Чем определяется предельное остаточное давление газа механических вентильных насосов?
4. Каковы характеристики откачки механических вакуумных насосов?
5. В чем состоит основная конструктивная особенность рабочей камеры механического насоса?
6. Что такое "мертвый" объем и как он влияет на характеристики откачки механических насосов?
7. Каков характер изменения скорости действия механического насоса в зависимости от давления газа на впускном затворе насоса?
8. Требования, предъявляемые к рабочей камере механических вакуумных насосов?
9. Для чего применяется масло в механических ротационных насосах?