

ЛЕКЦИЯ 1

тема: “Механические вакуумные насосы”

Вак. насос- машина (устройство) удаляющее или поглощающее газ и предназначенное для получения или поддержания в откачиваемых сосудах давления ниже атмосферного в заданных интервалах при известных величине и составе газового потока.

Существует три класса вакуумных насосов:

1. Механические ВН. Откачивающее действие их основано на перемещении газа в следствии механического перемещения рабочих частей насоса.
2. Струйные ВН. Основаны на увлечении, удалении газа струёй жидкости, пара или газа.
3. Поглотительные (сорбционные или криогенные) ВН. Основаны на поглощении с помощью процессов сорбции или конденсации ионизированного газа, испарении поглотителей или охлаждении их до криогенных температур.

Этапы развития ВН:

- 1 в. до н.э. Принцип Герона и водяной насос Ктезибля.
- 17 в. Галилей вычислил силу боязни пустоты.
- 1643 г. Торичелли- опыт со ртутью.
- 1650 г. Герике опыт с полушариями.
- 1895 г. Дюма получил вакуум с помощью конденсации водяного пара.
- 1873 г. Лампа Лодыгина.
- 1884 г. Мариньяни применил пары фосфора для сохранения вакуума в лампах накаливания.
- 1904 г. Дьюар предложил способ создания вакуума активированным углём охлаждённым жидким азотом.
- 1905 г. Геде изобрёл первый вращательный механический насос.
- 1910 г. Геде изобрёл молекулярный насос.
- 1914-1916 Геде, Ленгмюр, Боровик построили ртутный диффузионный насос.
- 1927 г. Берг- паромасляный насос.

Термины и определения:

Откачка- уменьшение молекулярной концентрации газа.

Разреженный газ- газ под давлением ниже атмосферного.

Средняя длина свободного пробега- длина, проходимая молекулой газа от соударения до соударения с другими молекулами газа.

$$\text{Для воздуха: } \lambda = \frac{510^{-5}}{P(\text{ммрт.ст.})} = \frac{6.7 * 10^{-3}}{P(\text{Па})} (\text{м})$$

Критерий Кнудсена:

$$Kn = \frac{\lambda}{d} - \text{характеризует режим течения газа.}$$

$Kn \ll 1$ - имеет место обычное сплошное течение среды, вязкостное течение.

$Kn \approx 1$ - переходный режим течения.

$Kn \gg 1$ - молекулярный режим течения.

$$W = \frac{P_1 - P_2}{Q}, U = \frac{1}{W} - \text{проводимость газовой системы.}$$

Основные параметры вакуумных насосов:

S_n - быстрота действия ВН, быстрота откачки во входном сечении.

$P_{вх}$ - давление во входном сечении.

$P_{ост}$ - предельное остаточное давление.

Предельное остаточное давление- минимальное давление, достиг. в стандартном измерит. колпаке установленном непосредственно на входе насоса при сколь угодно долгой откачке.

Поток газа- расход газа в котором количество газа выражено произведением давления газа на его объём.

Требования к промышленным вакуумным насосам:

Общее требование потребителя:

Получение заданной быстроты действия при наименьших размерах, массе, стоимости и сложности насоса с конструктивным обеспечением минимальных эксплуатационных издержек.

Параметры назначения:

1. быстрота действия или производительность насоса;
2. рабочий диапазон давлений;
3. предельное остаточное давление;
4. давление запуска;
5. условный проход (“Диаметр проходного сечения элемента вакуумной системы определяющий пристыковочные размеры по действующим стандартам”).

Физич. явления влияющие на работу насоса:

1. Эксплуатационные особенности:
 - 1.1. Селективность действия;
 - 1.2. мобильность запуска и остановки;
 - 1.3. способность продолжать работу при аварии
2. Экономические показатели
 - 2.1. Потребление энергии, воды, рабочей жидкости, сжиженного газа, потребность во вспомогательном оборудовании и т.д..
3. Эргономические показатели:

Частота вращения, уровень шума, вибрации, тепловой режим и т. д..
4. Установочные показатели:

Габариты, масса и т.д..
5. Ускоренного обезгаживания входного патрубка прогревом.

Технический уровень характеризуется:

Удельные параметры:

1. Удельная материалоемкость, кг/(л/с);
2. Удельные затраты на электрическую энергию кВт/(л/с)
3. Удельная себестоимость руб/(л/с)

Механические вакуумные насосы:

Классификация механических вакуумных насосов:

1. По области действия
 - Низкого;
 - среднего;
 - высокого вакуума.
2. Принципу действия
 - объёмные
 - скоростные

22.12.97 9:44

22.12.98 Краткий курс лекций для операторов вакуумных установок

Конев С.А.

Объёмный механический ВН- насос у которого перемещение газа осуществляется за счёт периодического изменения объёма рабочей камеры.

Скоростной ВН- откач. действие его основано на передаче газу импульса от вращающегося рабочего колеса в сторону откачки.

3. По конструкции рабочих органов

- поршневые
- пл. роторные
- пл. статорные
- золотниковые
- винтовые
- двухроторные
- жидкостнокольцевые
- осевые
- центробежные

4. По эффективности рабочего процесса

- а. с полным внутренним сжатием (поршневые)
- б. с частичным внутренним сжатием (винтовые)
- в. без внутреннего сжатия (с внешним сжатием)

5. По степени герметичности рабочей полости

- с контактной системой уплотнения (поршневые, пластинчатые)
- с бесконтактной системой уплотнения (двухроторные, все осевые)

6. По способу смазки и уплотнению зазоров

- Маслозаполненные
- с периодич. смазкой
- с масловпрыском
- с тв. смазкой
- без смазки (сухое сжатие- в рабочей камере нет смазки)

Функции масла:

- уменьшает мощность трения
- уплотняет рабочие зазоры
- термостатирует детали, создаёт температурный режим.

7. По способу охлаждения

- с водяным
- с воздушным

Насосы низкого вакуума

Основные:

- поршневые;
- многопластинчатые;
- водокольцевые.

ЛЕКЦИЯ 2

тема: “ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРОТЫ ДЕЙСТВИЯ НАСОСОВ”

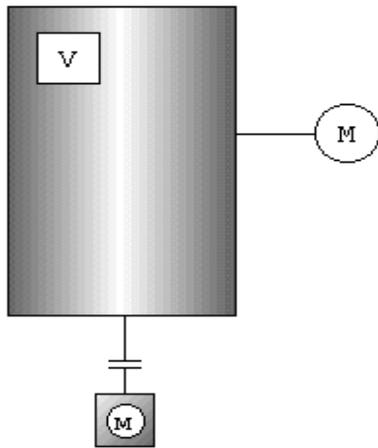
1. метод: Насос подсоединяется к постоянному объёму и измеряется снижение давления за определённый промежуток времени (для механических насосов).
2. метод: Через известную течь, установленной на впускной стороне насоса, пропускается газ, по давлению, установившемуся у входа в насос и количеству пропущенного газа можно вычислить быстроту действия насоса.

22.12.97 9:44

22.12.98 Краткий курс лекций для операторов вакуумных установок

Конев С.А.

Метод постоянного объёма:



V- откачиваемый объём;

H- насос;

M- манометр.

Предполагается, что $s \neq f(P)$, это справедливо для области [760,10] мм рт. ст..

$Q = pS$, где Q- производительность насоса.

$$Q = -\frac{d(PV)}{dt} = -V \frac{dP}{dt}.$$

$S = -\frac{V}{P} \frac{dP}{dt}$, после разделения переменных и интегриро-

вания, получим $S = \frac{V}{t-t_1} \ln \frac{P_1 - P_0}{P - P_0}$, P_1 - начальное давле-

ние в момент t_1 ;

P- давление в момент t; P_0 - предельное давление, достигаемое насосом.

Если $P_0 \rightarrow 0$, принимая $t_1=0$, получим:

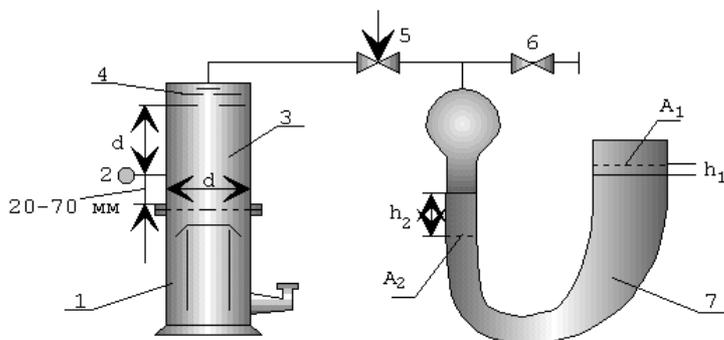
$$S = \frac{V}{t} \ln \frac{P_1}{P}.$$

Это справедливо при следующих допущениях:

- $S = \text{const}$;
- Сопротивлением вакуумпровода между насосом и откачиваемым насосом можно пренебречь;
- создаваемое насосом предварительное давление очень мало по сравнению с измеряемыми давлениями P_1 и P;
- в откачиваемом объёме V нет ни течи, ни газовыделения.

МЕТОД ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ:

К впускному отверстию диффузионного вакуумного насоса 1, быстрота действия которого определяется, подсоединяется испытательный колпак того же диаметра d. Манометр 2 подсоединяется к откачиваемому объёму патрубком на высоте 50-70 мм над впускным сечением диффузионного насоса. Газ выпускается в испытательный колпак 3 сверху, причём распределительные экраны 4 препятствуют возникновению направленного движения газа и попаданию его непосредственно в диффузионный вакуумный насос. Расстояние между присоединённой трубкой манометра и нижними распределительными экранами должно равняться d. При открытом вентиле 6 для впуска газа игольчатый вентиль 5 устанавливается таким образом, чтобы в насос поступал определённый газовый поток.



трубка для измерения количества откачанного воздуха.

чтобы в насос поступал определённый газовый поток.

1. Диффузионный насос;
2. Манометр;
3. Испытательный колпак;
4. Распределительные экраны;
5. Игольчатый вентиль;
6. Вентиль для напуска воздуха;
7. Калиброванная U-образная

После этого клапан 6 закрывается, столб масла в прокалброванной U- образной трубке 7 начинает подниматься и определяется промежуток времени t , за который столб масла достигает высоты h_2 .

Обозначения:

V_0 - полный объём между клапанами 5 и 6 и уровнем масла в левом колене U- образной трубке в начале эксперимента. Начальные уровни масла в U- образной трубке обозначены пунктиром.

P_0 - начальное давление в объёме V_0 (равно атмосферному), мм рт.ст..

A_1, A_2 - поперечные сечения обоих колен трубки;

h_1, h_2 - расстояния обоих менисков от нулевого положения;

$\sigma_{ж}$ - плотность жидкости в U- образной трубке;

σ_{Hg} - плотность ртути;

P - давление, показываемое манометром 2, мм рт.ст..

Между клапанами 5 и 6 имелось количество газа, равное:

$$Q_0 = P_0 V_0$$

К моменту t уровень жидкости в левом колене повысился на h_2 , количество газа стало равным:

$$Q_1 = P_1 V_1$$

Следовательно, диффузионный вакуумный насос откачал следующее количество газа:

$$Q = Q_0 - Q_1 = P_0 V_0 - P_1 V_1, \quad (1)$$

где новый объём

$$V_1 = V_0 - h_2 A_2 \quad \text{и} \quad (2)$$

новое давление

$$P_1 = P_0 - (h_1 + h_2) \frac{\sigma_{ж}}{\sigma_{Hg}} \quad (3).$$

Вместо h_1 можно подставить

$$h_1 = h_2 \frac{A_2}{A_1}.$$

Из уравнений (1)-(4) получаем:

$$Q = h_2 A_2 P_0 + (V_0 - h_2 A_2) \left(1 + \frac{A_2}{A_1} \right) h_2 \frac{\sigma_{ж}}{\sigma_{Hg}}$$

$$S = \frac{Q}{tp} [\text{мм}^3 / \text{сек}], \quad \text{или} \quad S = 10^{-6} \frac{Q}{tp} [\text{л} / \text{сек}].$$

Предполагалось, что $t = \text{const}$.

Ошибки при определении быстроты действия методом постоянного давления:

- измерение давления P в области среднего и высокого вакуума очень затруднено;
- показание манометра 2 сильно зависит от способов его подсоединения к испытательному колпаку и впуска газа;
- форма и размеры испытательного колпака.

Рекомендуется применять испытательные колпаки диаметром, превышающим диаметр диффузионного насоса в 2-3 раза.

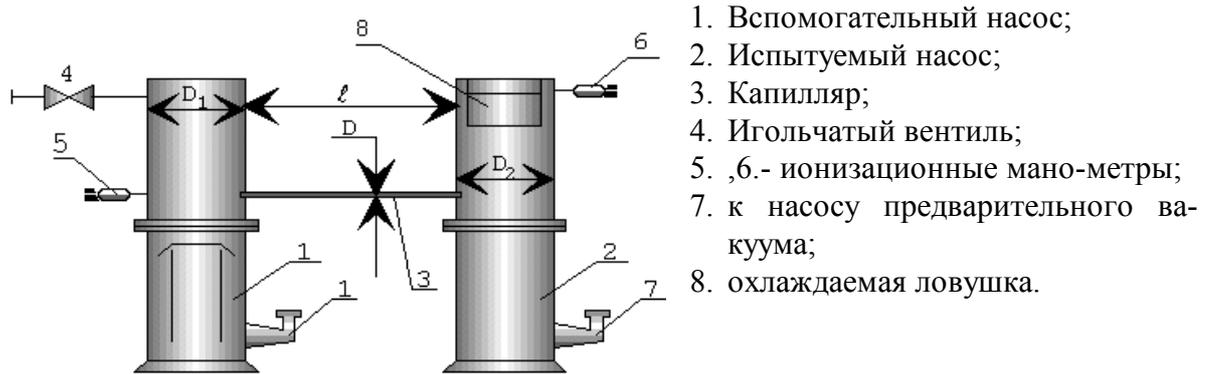
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПОСТУПАЮЩЕГО ГАЗА В НАСОС МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРА

$D = 1.27$ см, $D_1 = 10.5$ см, $\ell = 30.5$ см, $D_2 = 5.3$ см.

22.12.97 9:44

22.12.98 Краткий курс лекций для операторов вакуумных установок

Конев С.А.



1. Вспомогательный насос;
2. Испытуемый насос;
3. Капилляр;
4. Игольчатый вентиль;
5. ,6.- ионизационные манометры;
7. к насосу предварительного вакуума;
8. охлаждаемая ловушка.

Поток газа через капилляр при данной разности давлений $P_1 - P_2$ равен:

$$Q = SP_2 = L(P_1 - P_2)$$

Q - поток газа, мм рт.ст. л/сек;

S - быстрота действия вакуумного насоса 2, л/сек;

P_1, P_2 - давления на концах капилляра;

L - пропускная способность капилляра, л/сек.

Измерения производятся при давлениях, соответствующих молекулярному течению через капилляр, т.е. $\lambda \gg 2r$ и $r \ll \ell$.

λ - длина свободного пути молекул газа, r и ℓ - радиус и длина капилляра.

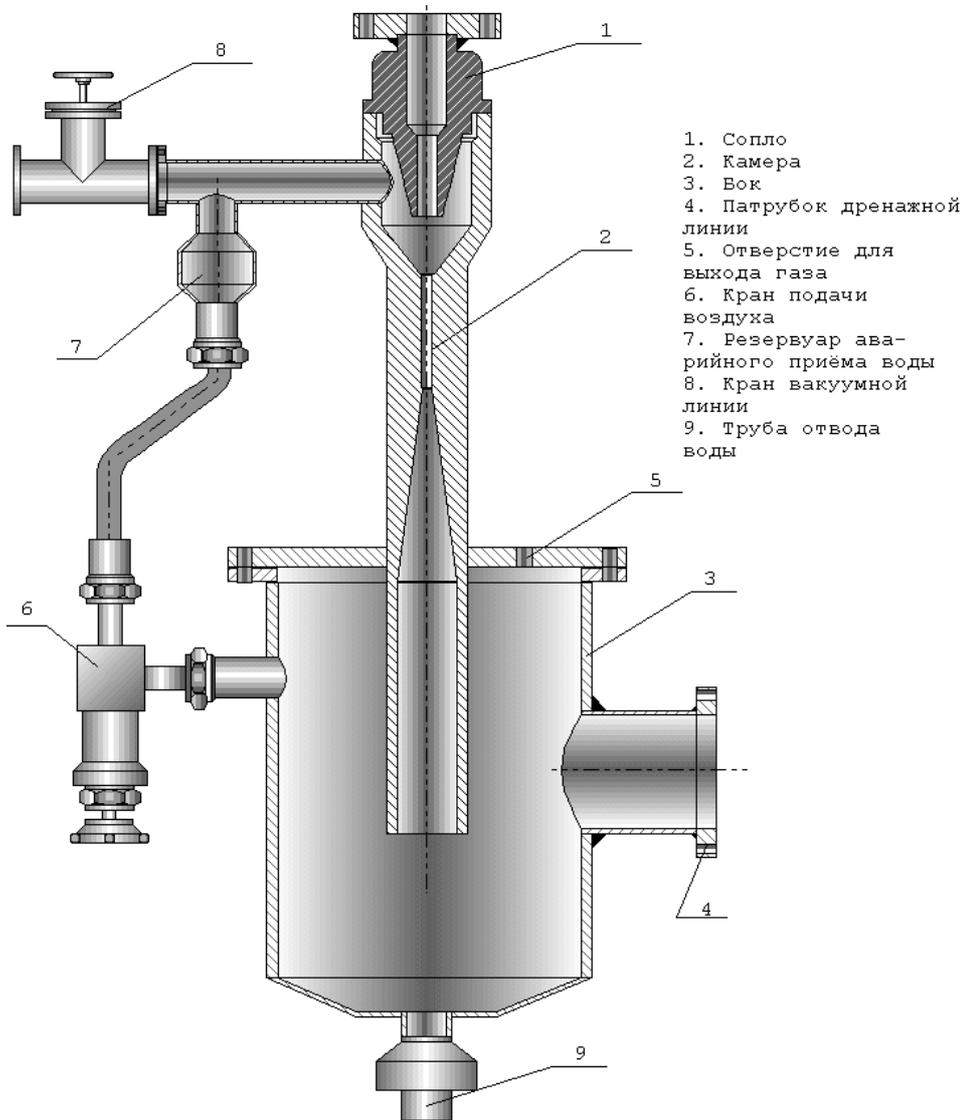
Пропускная способность вычисляется по формуле:

$$L = \frac{8\pi}{3} \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} \frac{r^3}{\ell} = 30,5 \frac{r^3}{\ell} \sqrt{\frac{T}{M}}$$

Этим методом можно определить поток газа $Q < 10^{-6}$ мм рт.ст. л/сек.

ЛЕКЦИЯ 3

ЭЖЕКТОРНЫЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ



1. Сопло
2. Камера
3. Вок
4. Патрубок дренажной линии
5. Отверстие для выхода газа
6. Кран подачи воздуха
7. Резервуар аварийного приёма воды
8. Кран вакуумной линии
9. Труба отвода воды

ВОДОСТРУЙНЫЙ НАСОС

сферного давления. Смесь воды с газом стекает в бачок 3, откуда стекает в дренажную линию, подсоединённую к патрубку 4. Для выхода газа из бачка во фланце 5 предусмотрено отверстие. Насос присоединяется к вакуумной системе через кран 8. Резервуар 7 предназначен для приёма воды, засасываемой через диффузор бочка в случае аварийного прекращения её подачи. Через кран 6 подаётся воздух в резервуар при остановке насоса, а также предотвращает всасывание воды.

Производительность насоса возрастает с повышением давления воды. Предельное остаточное давление насоса практически равно упругости пара воды и увеличивается с повышением её температуры.

Водоструйные насосы часто применяются в системах безмасляной откачки, последней ступени парожеторного насоса.

Парожеторные насосы предназначены для безмасляной откачки больших сосудов до давлений $1 \cdot 10^{-1}$ Па. Парожеторные насосы могут быть с одной ступенью, двух и более ступенчатыми присоединёнными последовательно друг другу.

22.12.97 9:44

22.12.98 Краткий курс лекций для операторов вакуумных установок

Конев С.А.

Данные насосы предназначены для откачки воздуха и других газов от атмосферного давления до 100 Па.

Рабочее вещество, попадая через сопло 1 под давлением $2.5 \cdot 10^5$ Па в камеру смешения и расширяясь, а затем в диффузор 2 увлекает воздух. В результате этого создаётся вакуум в линии клапана 8. В диффузоре статическое давление смеси воды и газа за счёт уменьшения скорости повышается до атмосферного.

Тема: "Высоковакуумные пароструйные насосы"

1. Теории высоковакуумного диффузионного насоса (ДН)

1.1. Теория Геде (Gaede)

Первые модели высоковакуумных насосов появились в 1912-1915 г.г.. Теоретическое рассмотрение работы ДН дал Геде в работах:

- Gaede W., Ann. d. Phys., Bd., 41, 289, 1913;
- Gaede W., Ann. d. Phys., Bd., 46, 357, 1923;
- Gaede W., Ann. d. Phys., Bd., 4, 337, 1923.

В своих работах Геде показал, что физической основой работы ДН лежит диффузия газа в паровую струю.

В модели не учитывалось:

- a) наличие определённой структуры струи при истечении пара из сопла;
- b) влияние структуры струи на работу насоса;
- c) паровой поток принимался равномерно- распределённым по всему сечению рабочей камеры насоса и движущимися с одинаковыми по сечению скоростями, плотностями и давлениями.

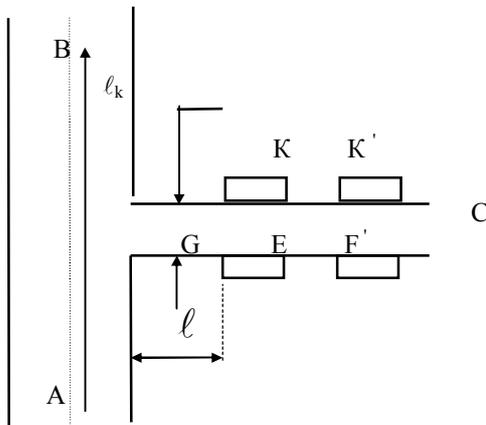


Рис. 1 Схема теоретической модели диффузионного насоса по ГЕДЕ.

По трубке от А к В движется ртутный пар. В сечении Г происходит диффузия пара в паровую струю. Диффузия происходит в результате разницы парциальных давлений откачиваемого газа в ртутном паре и сечении Г. Между сечениями Г и С постоянно имеется градиент концентраций (парциальных давлений). Для предотвращения попадания паров ртути в сечение С на трубке Г-С установлены холодильники- конденсаторы Е-К и К' - F'.

1.2. Теория Яккеля (Jaeckel).

Теория изложена в работах:

- Яккель Р. Получение и измерение вакуума. (пер. с нем.), Изд-во ин. лит., 1959 г.
- Jaeckel R., Ztschr. techn. Phys., Bd. 23, 177, 1942.
- Jaeckel R., Ztschr. Naturf., № 2a, 666, 1947.

Допущения:

- a) молекулы пара выходя из сопла, движутся с постоянной, равномерно распределённой по сечению рабочей камеры насоса скоростью, параллельно оси сопла;
- b) наличие молекул пара, движущихся в сторону, противоположную потоку и их влияние на работу насоса- не учитываются.

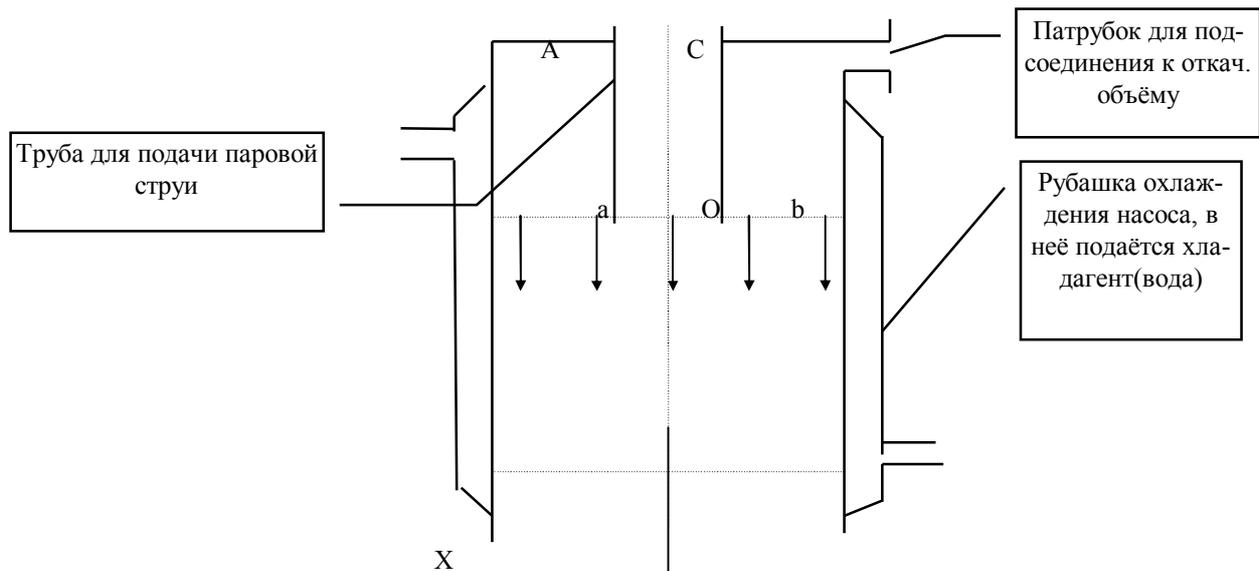


Рис. 2 Схема теоретической модели диффузионного насоса по ЯККЕЛЮ.

Яккель рассматривал два режима работы насоса:

- Режим предельного вакуума ($S=0$);
- режим откачки ($S \neq 0$).

Теория Яккеля позволяет определить:

- зависимость быстроты действия насоса от скорости и плотности паровой струи;
- быстрота действия насоса равна площади диффузионной диафрагмы;
- быстроту действия насоса, зависящую от противо диффузии газа через струю, молекулярного веса откачиваемого газа;
- зависимость предельного остаточного давления от молекулярного веса газа, плотности и скорости паровой струи;
- определить S_{\max} и вакуум-фактор $Ho = S_{\text{нас}}/S_{\text{теор}}$ (Симплекс Xo);
- изменение $P_{\text{ост.}}$ и степени сжатия при изменении молекулярного веса газа.

1.3. Теория Неллера

Открыл возможность исследования воздействия струи пара при помощи методов газовой динамики. Фотографировал и исследовал струю пара.

Подробное рассмотрение откачивающего действия на основе кинетической теории газов должно привести к созданию теории, не содержащей произвольных параметров и неточных предположений. В случае равновесия, распределение скорости мол. газа в откачиваемом объеме представляет собой Максвелловское распределение, средняя скорость равна 0 и никакого газового потока не существует. В процессе откачки, Максвелловское распределение скоростей заметно изменяется только на входе в насос, где происходит взаимное столкновение мол-л газа и пара. Но в смесительной камере насоса плотность струи пара достаточно низкая, благодаря чему в нее легко проникают мол. газа, но одновременно эта плотность препятствует обратной диффузии мол. газа с форвакуумной стороны. Распределение скоростей в смесительной камере насоса происходит не по закону Максвелла, т.к. имеет место непрерывное столкновение мол. газа и пара, поэтому ДН откачивает мол. газа.

Предположение по процессу откачки:

"взаимные столкновения мол. газа и пара влияют на распределение скоростей мол. газа, в результате чего возникает газовый поток, направленный в форвакуумную сторону. Этот процесс наблюдается как в смесительной камере, так и на входе в насос. Поэтому нет необходимости рассматривать откачивающее действие отдельно в различных местах смесительной камеры".

Расчёты, Неллер провёл только по координате X (направлена вдоль оси насоса), Предполагалось, что составляющая скорости пара V_{oy} не влияет на газовый поток в направлении Y , а влияет только на распределение плотности газа.

22.12.97 9:44

22.12.98 Краткий курс лекций для операторов вакуумных установок

Конев С.А.

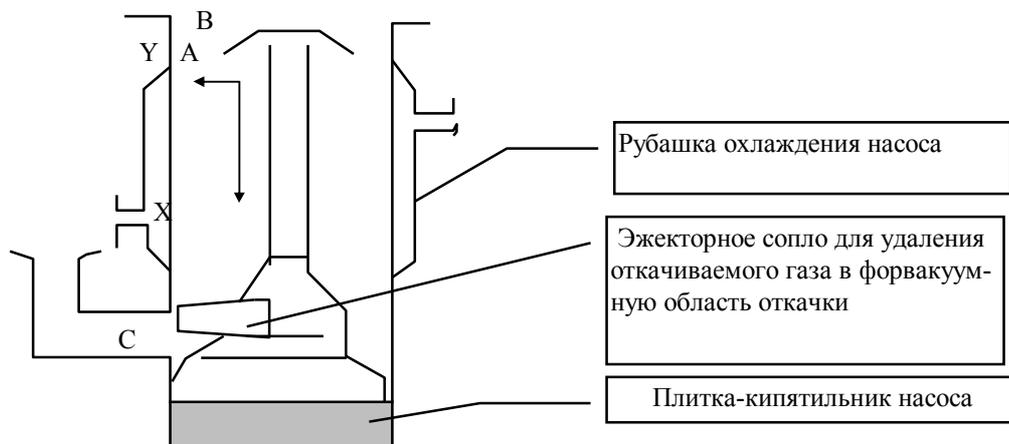


Рис.3 Схематичное представление насоса в задачах Неллера.

2. Характеристики диффузионных насосов

А. Быстрота действия (S):

Уменьшение S в области низких давлений (область а) обусловлено следующими факторами:

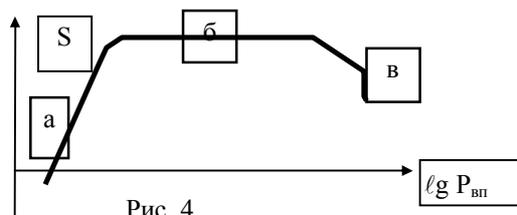


Рис. 4

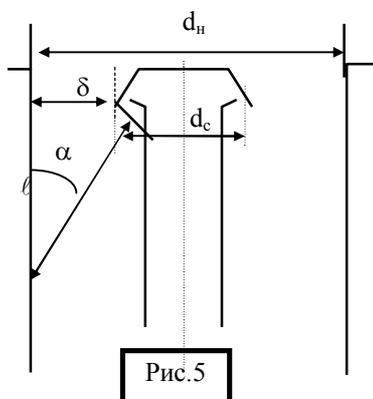
- Становится ощутимой противодиффузия газа через паровую струю;
- вынос паровой струёй газов из кипятыльника насоса;
- газо выделение стенок.

С ростом впускного давления, возрастает и выпускное давление. Оно регламентируется величиной быстроты действия форвакуумного насоса. Увеличение выпускного давления приводит к возникновению скачка уплотнения в струе, перемещению его к соплу и отрыву струи от стенок насоса, что приводит к возникновению перетока молекул из форвакуума в сторону высокого вакуума.

Быстрота действия ДН зависит:

- От рода откачиваемого газа и его температуры;
- размеров ДН, площади диффузионной диафрагмы, формы корпуса;
- рода рабочей жидкости и структуры паровой струи;
- конструкции ДН;
- величины выпускного давления.

2.1.1. Зависимость быстроты действия ДН от площади диффузионной диафрагмы.



С увеличением площади диффузионной диафрагмы возрастает S , однако, для современных ДН это не всегда справедливо. Паровая струя в современных ДН направлена к стенке насоса под углом $10-20^\circ$ и $\delta = \ell \sin \alpha$. Зависимость быстроты действия ДН от длины струи не будет тривиальной. С одной стороны, с ростом ℓ должна расти S , однако при этом снижается плотность струи у стенки и возрастает противодиффузия газа из области предварительного вакуума. Зависимость быстроты действия насоса от длины струи будет определяться совместным влиянием двух факторов:

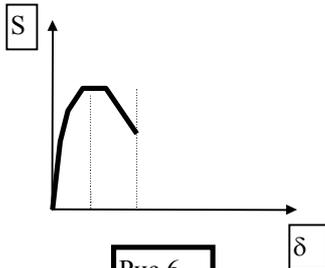


Рис.6

- Прямой;
- обратной диффузией.

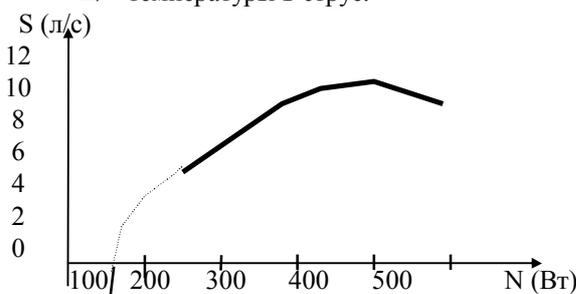
О влиянии площади диффузионной диафрагмы на быстроту действия вакуумного насоса:

1. Holstmark F., Ramm W., Westin S., Rev. Sci. Instrum., №8, 90, 1937.
2. Грошковский Я. Технология высокого вакуума (пер. С польск.) Изд-во ин. Лит., 1957.

2.1.2. Зависимость быстроты действия от структуры струи.

Под структурой струи понимается характер распределения и величины параметров:

- ⇒ плотности;
- ⇒ скорости;
- ⇒ давления;
- ⇒ температуры в струе.



$N_{пор.}$

Рис. 7. Зависимость быстроты действия ДН от мощности подогрева.
 $N_{пор.}$ - пороговая мощность, которая затрачивается на компенсацию всех тепловых потерь в насосе.

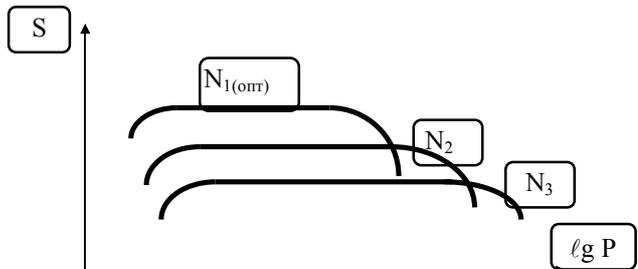


Рис.8 Зависимость быстроты действия ДН от впускного давления при разных значениях мощности подогрева ($N_3 > N_2 > N_1$)

2.1.3. Зависимость быстроты действия ДН от рода откачиваемого газа

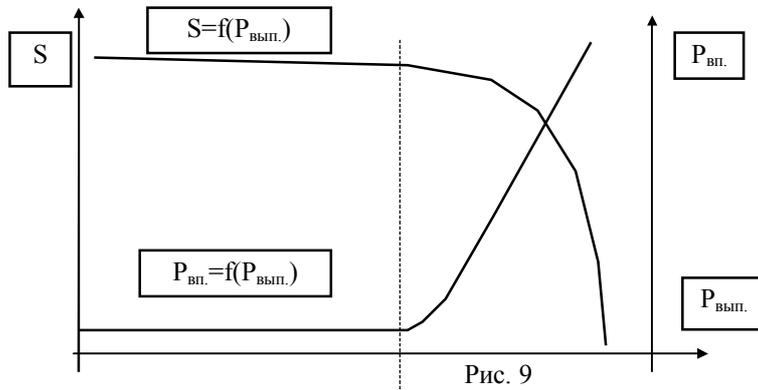
Часто на практике полагают, что $\frac{S_1}{S_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \dots \Rightarrow \frac{S_{H_2}}{S_{воздух}} = 3.8$, что никогда не выполняется и в

лучшем случае $\frac{S_{H_2}}{S_{возд}} \leq 1$. При откачке лёгких газов, быстрота действия ДН не подчиняется этому уравнению.

S зависит от обратной диффузии молекул газа из форвакуумной области в область высокого вакуума. Для выбора оптимальной мощности при откачке газов различного молекулярного веса можно пользоваться с допустимой для практики точностью уравнением:

$$\frac{N_{opt.з.}}{N_{opt.в.}} = 0.78 + \frac{1.17}{\sqrt{M_2}}$$

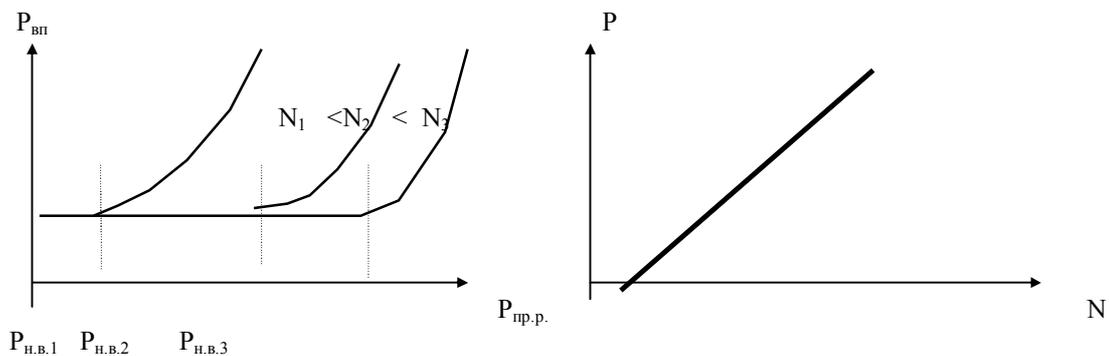
2.1.4. Зависимость быстроты действия от величины выпускного давления.



2. Наибольшее выпускное давление

Для парортутных ДН: 0.5-3 мм рт.ст..

Для паромасляных : 0.1-0.3 мм рт.ст..



**Удельные характеристики диффузионного насоса
(характеризуют степень совершенства насоса)**

* Удельная быстрота действия $S' = \frac{S}{F_{\text{д.д.}}}$, где... $F_{\text{д.д.}}$ – площадь диффузионной диафрагмы. Для большинства пароструйных диффузионных вакуумных насосов $S' = 3.5 - 5.5$ л/(с см²).

* Вакуум-фактор (симплекс Хо): $\varphi = \frac{S_{\text{факт.}}}{S_{\text{теор.}}} = 0.3 - 0.5$.

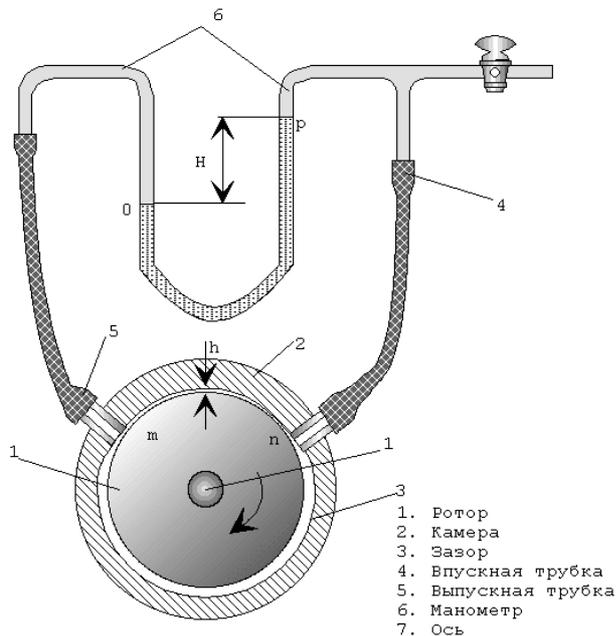
* Термодинамический КПД. $\eta = \frac{AGRT \ln \frac{P_2}{P_1}}{N}$. $\eta = 10^{-4} - 10^{-3}$, т.е. от всей подводимой мощности только $10^{-4} - 10^{-3}$ часть используется на совершение работы сжатия в насосе.

* Удельный расход мощности. $q = \frac{N}{S} \left[\frac{Bm}{л/с} \right]$, но эта величина не учитывает наибольшее выпуск-

ное давление и соответственно степень сжатия в насосе. Термодинамический КПД учитывает этот недостаток.

ЛЕКЦИЯ 4

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ НАСОСЫ



Работа данных насосов основана на молекулярно-кинетических явлениях.

Ротор 1 с большой быстротой вращается в направлении стрелки около оси 7. Между камерой 2 и ротором 1 имеется зазор 3, который на участке между впускной (n) и выпускной (m) сторонами значительно уже. Здесь ширина h зазора в большей части технических моделей составляет 2/100-5/100 мм. Рассматриваются явления, которые происходят в насосе при отсутствии межмолекулярного столкновения. Молекулы, входящие в насос по впускной трубке 4 со стороны n, ударяются в ротор 1 и получают дополнительный импульс в направлении в сторону выпускного патрубка 5. Зазор h между m и n создаёт очень большое сопротивление

обратному потоку газа непосредственно через этот зазор. В результате этого между выпускной и впускной сторонами возникает разность давлений. Эту разность давлений показывает манометр 6. В результате расчётов $S \sim \frac{\omega}{\sqrt{M}}$, где ω - частота вращения ротора, M- молекулярный вес откачиваемого газа. Наибольшее выпускное давление молекулярных насосов не должно превышать 0,1 мм рт.ст.. Их предельное давление ниже 10^{-6} мм рт. ст.

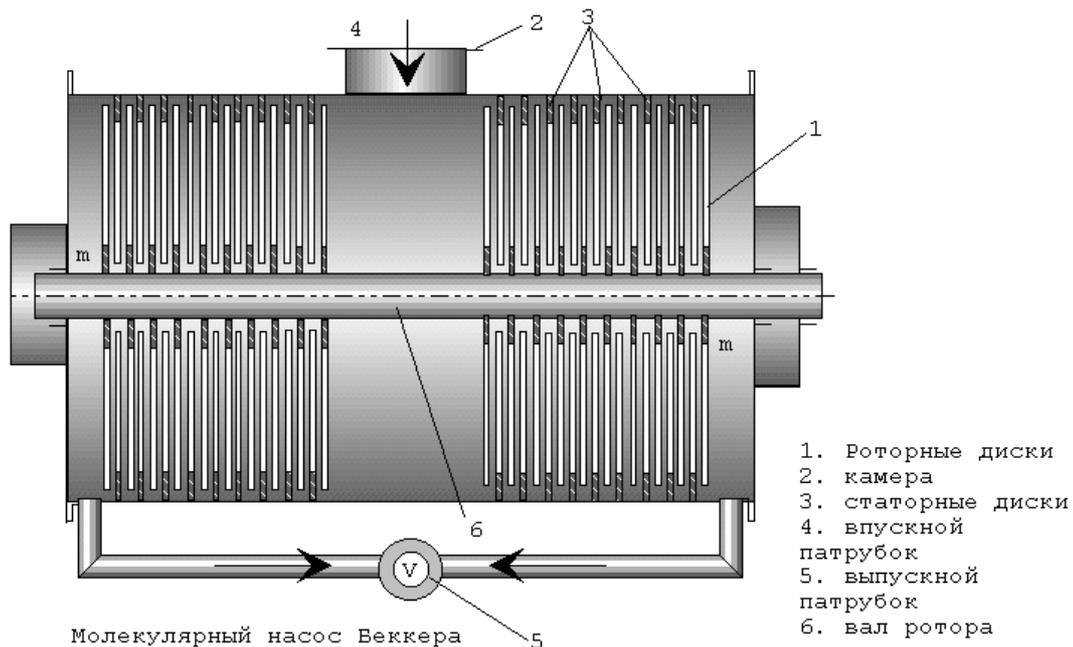
Преимущества:

1. Для начала работы насосы требуют мало времени. По мере достижения предусмотренного числа оборотов они уже работают с полной производительностью.
2. Пары масла не должны сходить в состав остаточных газов.
3. Насосы нечувствительны к прорыву воздуха.
4. Свойство этих насосов быстрее откачивать тяжёлые газы, что в ряде случаев имеет большое значение.

Недостатки:

1. В большинстве конструкций зазоры в этих насосах не должны превышать несколько сотых миллиметра. Такая точность значительно удорожает насос.
2. Наличие подвижных деталей приводит к износу насосов.
3. Насосы чувствительны к загрязнениям и от попадания в них металлических или стеклянных частиц приходят в негодность.
4. Достигаемые значения быстроты действия значительно ниже, чем у диффузионных насосов.
5. Работа молекулярных насосов связана со значительным шумом.

Принцип действия турбомолекулярного насоса основан на сообщении молекулам разреженного газа направленной дополнительной скорости быстро движущейся твёрдой



поверхностью.

На рисунке представлена принципиальная схема турбомолекулярного насоса. Рабочий механизм насоса образован роторными 3 и статорными 2 дисками, имеющими радиальные косые пазы-каналы, боковые стенки которых наклонены относительно плоскости диска под углом $40-15^{\circ}$; причём пазы статорных дисков расположены зеркально относительно пазов роторных дисков. Между статорными дисками и валом ротора и между роторными дисками и корпусом насоса имеются зазоры. При молекулярном режиме течения газа в насосе, т.е. при давлениях ниже $1-10^{-1}$ Па, такая система подвижных и неподвижных пазов обеспечивает преимущественное прохождение молекул газа в направлении откачки. Действительно, молекула газа, прошедшая через статорный паз, попав в паз роторного диска, имеет большую вероятность пройти через него, т.к. боковая стенка 1 роторного паза уходит с пути молекулы, а стенка 2 не может её нагнать, в то время как такая же молекула, подходящая к роторному диску справа, т.е. против направления откачки, вошедшая в паз, будет с большой вероятностью задержана стенкой 2 роторного паза и отражена обратно в направлении откачки. Молекулы, отражённые роторным диском, кроме тепловой скорости, приобретают дополнительную скорость. Эта скорость равна окружной скорости роторного диска и направлена параллельно оси насоса. Благодаря соответствующему углу наклона боковых стенок статорного паза здесь также обеспечивается преимущественное прохождение молекул в направлении откачки. Эффективность насоса возрастает с ростом окружной скорости $V_{\text{окр}}$ ротора и с уменьшением наиболее вероятной скорости молекул $V_{\text{в}}$.

Расчёты показывают, что максимальная быстрота действия достигается при угле наклона пазов около 30° . С другой стороны для получения достаточно высокой степени сжатия в одной ступени (от 3 до 5) угол наклона паза должен быть не более 20° . Поэтому в современных насосах высоковакуумные ступени выполняются с углом наклона 35° , а остальные- 20° .

Турбомолекулярные насосы имеют очень высокий коэффициент сжатия для тяжёлых газов, то во время работы эти насосы являются надёжным барьером против проникновения тяжёлых молекул масла из форвакуумной полости насоса.

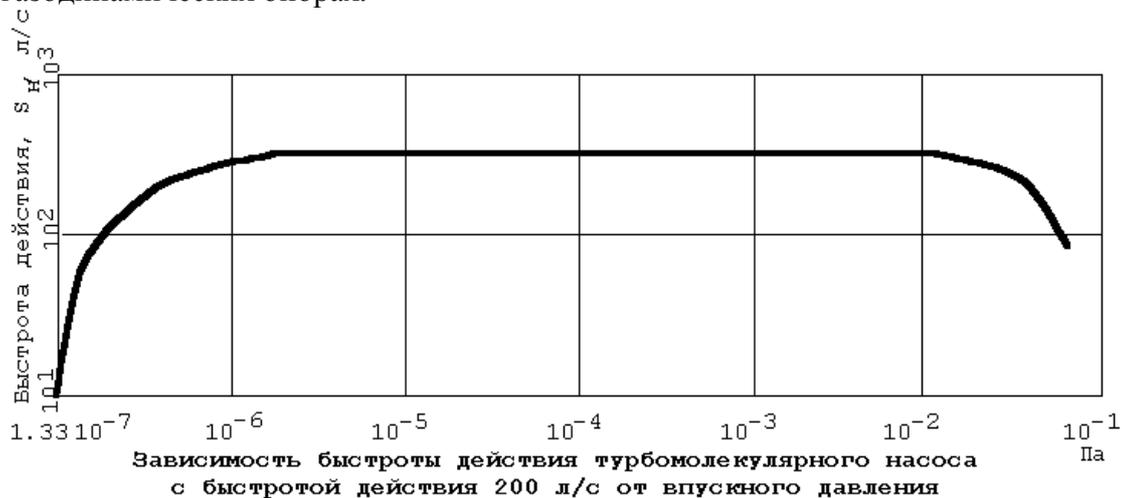
КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Турбомолекулярные насосы выполняются:

- с горизонтально расположенным;
- с вертикально расположенным ротором.

Ротор ТМН может иметь следующие опоры:

- подшипниковые;
- на магнитном подвесе;
- на газодинамических опорах.



На рисунке показана типичная зависимость скорости действия турбомолекулярного насоса от входного давления. Скорость действия насоса остаётся постоянной в широком диапазоне давлений. При давлении 10^{-1} Па начинает сказываться изменение режима течения газа через диски насоса, а при давлении ниже 10^{-6} Па, на скорость действия начинает оказывать влияние водород, выделяющийся из стенок насоса и перетекающий со стороны форвакуумной полости насоса.

Достоинства турбомолекулярных насосов:

- быстрый запуск;
- малая селективность при откачке различных газов;
- отсутствие паров масла и продуктов его разложения с остаточной атмосфере;
- возможность получения сверхвысокого вакуума без использования ловушек на входе;
- механизм насоса не повреждается при прорывах атмосферного воздуха.

Практические указания по эксплуатации:

Недопустима длительная выдержка остановленного ТМН под форвакуумным давлением (ниже 10 Па), т.к. при этом пары масла могут проникнуть со стороны форвакуума через роторный механизм на сторону высокого вакуума. Остановленный ТМН должен быть заполнен осушенным воздухом или азотом до атмосферного давления через кран, имеющийся в форвакуумной трубке насоса.

Небольшое количество паров масла, попавшее на вход ТМН, обычно легко удаляется прогревом корпуса в области входной трубки до $100-120^{\circ}\text{C}$ при работающем ТМН. Большую опасность для работы насоса представляет попадание в него твёрдых частиц. При наличии такой опасности во входной трубке насоса должна быть установлена металлическая сетка с размерами ячейки 1×1 мм.

ТЕМА: АДСОРБЦИОННЫЕ НАСОСЫ

Принцип действия адсорбционных насосов основан на способности предварительно обезгаженных пористых твёрдых тел поглощать газы и пары в основном за счёт физической абсорбции.

Адсорбционные насосы нашли применение в системах безмасляной откачки как для создания предварительного разряжения, так и для получения и поддержания весьма низких давлений в высоковакуумных сосудах. В качестве поглощающих материалов (адсорбентов) могут применяться силикагели, алюмогели, цеолиты и активированные угли.

Наибольшее распространение получили цеолиты, представляющие собой алюмосиликаты щелочного или щелочноземельного металла, природного или искусственного происхождения. Пористую структуру и очень хорошие адсорбирующие свойства они приобретают после прокаливания.

Недостатками цеолитов, как и других адсорбентов, является то, что они плохо поглощают инертные газы, в частности аргон. Кроме этого они неэффективны по отношению к газам с очень низкой точкой кипения (H_2 , He, Ne). Поскольку равновесное давление над поверхностью адсорбента, он обычно охлаждается жидким азотом, жидким гелием или водородом.

С целью получения низких предельных остаточных давлений рекомендуется осуществлять предварительную откачку сосуда до давления 10^4 Па водоструйным или механическим вакуумным насосом. Иногда в качестве насоса для форвакуумной откачки используют другой адсорбционный насос.

Основным *достоинством* адсорбционных насосов является полное отсутствие органических загрязнений откачиваемого сосуда. *Недостатки* насосов - необходимость использования жидкого азота, периодическая регенерация и довольно значительное время охлаждения насоса.

ЛЕКЦИЯ 5

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ

Охватывает область давлений от 760 мм рт. ст. до 10^{-12} мм рт. ст.. Поскольку область охватывает 15 порядков, в настоящее время не существует универсального метода измерения.

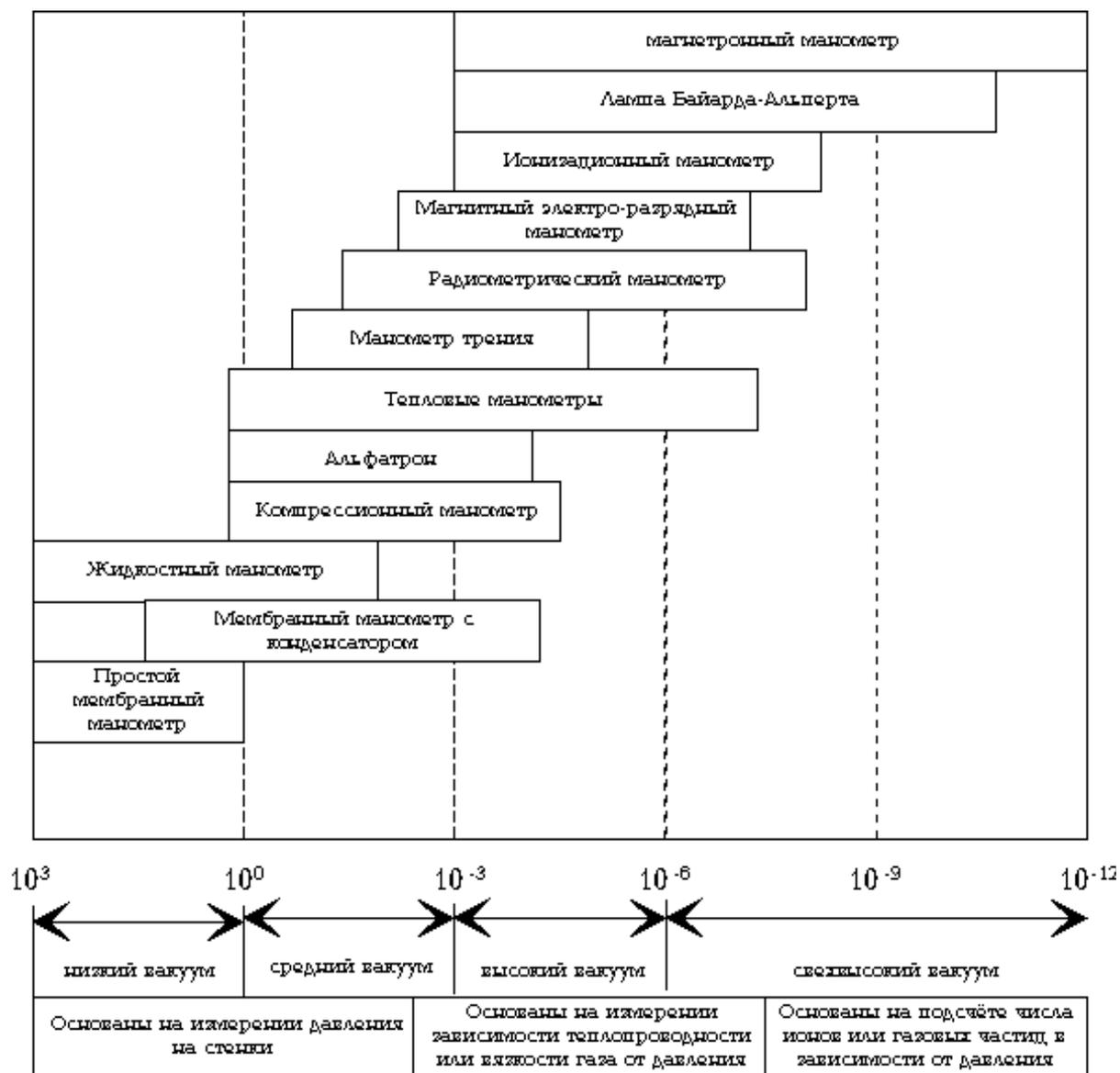


Рис.1 Диапазоны рабочих давлений различных вакуумметров

Механические манометры Манометр Бурдона

Манометры пригодны для измерения вакуума в области 1-760 мм рт.ст..

22.12.97 9:44

22.12.98 Краткий курс лекций для операторов вакуумных установок

Конев С.А.

Источники ошибок:

Смещение нулевой точки;
 упругие последствия;
 явления гистерезиса;
 колебания температуры.

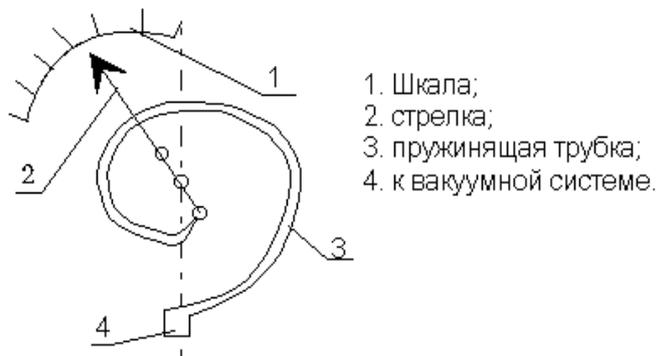


Рис. Схематичное представление манометра Бурдона

Достоинства:

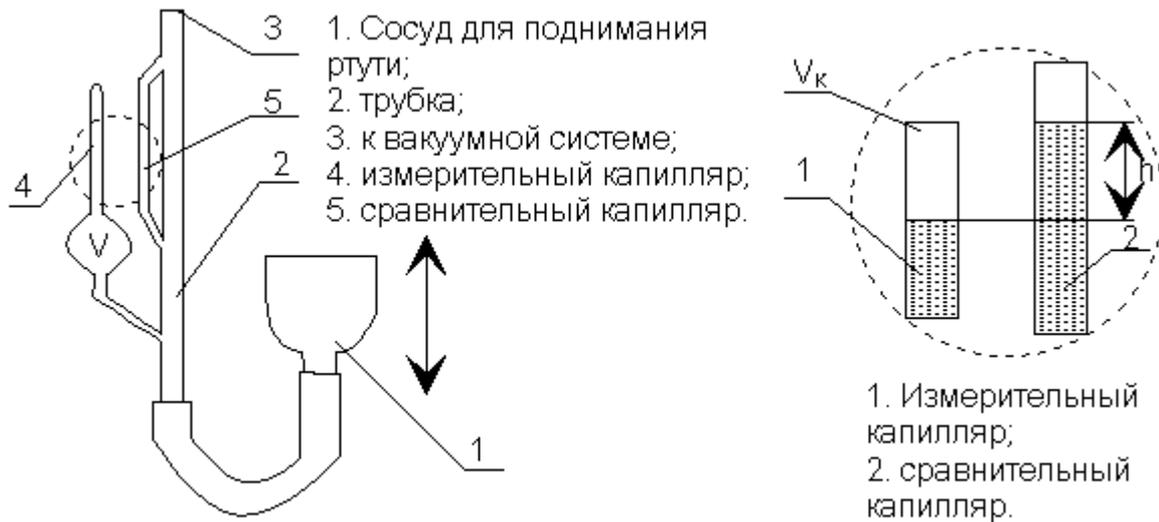
Простота;
 независимость от рода газа;
 не выделяют паров в откачиваемый объём (в отличии от жидкостных манометров).

Жидкостные манометры

U- образные и манометры с наклонным коленом используются для измерений давлений до 10^{-1} мм рт.ст. (если рабочая жидкость- ртуть). Точность простых U-образных манометров ± 1 мм рт. ст.. Точность манометров с наклонным коленом возрастает в $1/\sin\alpha$ раз (α - угол наклона колена к горизонту).

Компрессионные манометры.**Манометр Мак-Леода**

Если газ, давление которого необходимо измерить, заключить в известный объём, после чего сжать его, то полученное таким путём давление становится возможным измерить способом обычного U-образного манометра. Зная степень сжатия и измеренное давление, можно определить искомое давление.



В начале сжатия, в объеме V газ имеет давление P , которое необходимо измерить. Сжатый газ в измерительном капилляре занял объем V_k при давлении $(P+h)$. По закону Бойля-Мариотта:

$$p V = (p+h) V_k;$$

$$p = \frac{V_k}{V - V_k} h, \text{ т.к. } V_k \ll V \Rightarrow p = \frac{V_k}{V} h, \text{ т.к. } V_k = r_k^2 \pi h \Rightarrow p = \frac{r_k^2 \pi}{V} h^2, \text{ т.е. } p \sim h^2.$$

Задачи:

Дано:

$$V = 200 \text{ см}^3;$$

$$r_k = 1 \text{ мм};$$

$$h = 5 \text{ мм}.$$

Чему равно P =?.

2. Дано:

$$V = 200 \text{ см}^3;$$

$$r_k = 1 \text{ мм};$$

$$h = 100 \text{ мм. (максимальное значение)}$$

Чему равно P =? (максимальное значение)

Ошибки в показаниях этого прибора связаны с влиянием капиллярных сил. Нижний предел давлений манометра Мак-Леода составляет 10^{-5} мм рт.ст..

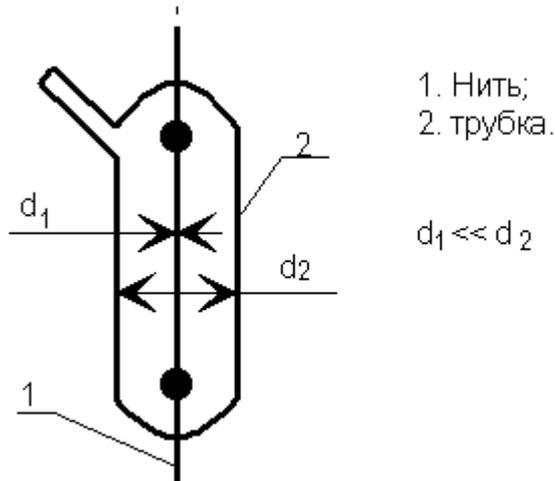
Манометр непригоден для измерения давления конденсирующихся газов (например паров воды).

Эти манометры относятся к эталонным приборам.

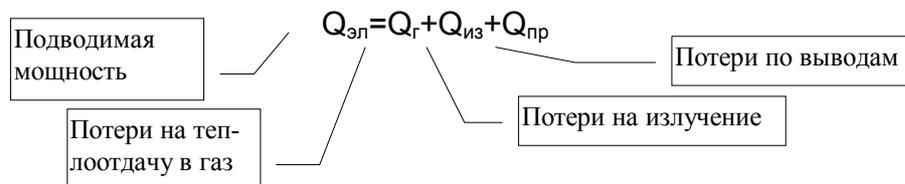
Тепловые манометры

Теплопроводность газа зависит от давления, если длина свободного пути того же порядка, что и размеры сосуда, содержащего газ. Эта зависимость и использована для измерения давления тепловыми манометрами.

Манометры сопротивления (Пирани, 1906 г.)

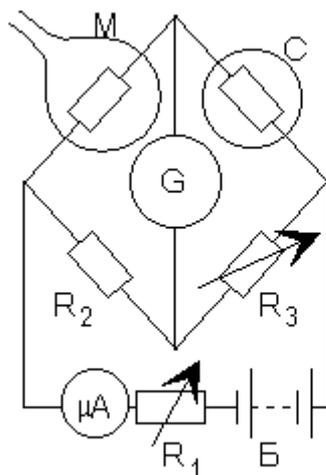


Нить нагревается пропусканием через неё электрического тока. Если мощность тока постоянная, то температура установится такой, когда будет выполняться балансовое соотношение:



Для $\lambda \gg d_1$, при $P < 10^{-3}$ мм рт. ст., $Q_{\text{г}} \rightarrow 0$ и $Q_{\text{эл}} = Q_{\text{из}} + Q_{\text{пр}}$.

В манометрах сопротивления изменение температуры проволоки измеряется по изменению её сопротивления.



М- манометрическая лампа;
С- сравнительная лампа;
G- гальванометр;
 R_1 - реостат;
Б- источник напряжения.

Схема включения манометра
Пирани (мост Уитстона).

В качестве проволоки применяется платиновая, вольфрамовая или молибденовая проволока толщиной примерно 30 мк ($3 \cdot 10^{-5}$ м). Температура нити 80-120°C.

Ионизационные манометры. Ионизационный манометр с горячим катодом

Протекающие через разреженный газ заряженные частицы могут частично его ионизировать, если их энергия превышает энергию ионизации для данного газа. Если все остальные параметры постоянные, то удельная ионизация, т.е. число пар ионов, возникающих на единице пути, будет пропорционально плотности газа. Ток в цепи коллектора ионов является мерой давления.



Погрешности показаний обычно связаны со следующими причинами:

Путь, проходимый электронами в газовой среде, точно не известен;
 не все образовавшиеся ионы улавливаются коллектором ионов;
 горячий катод создаёт в измерительном пространстве более высокую температуру и, следовательно, уменьшает плотность газа в нём, по сравнению с откачиваемым объёмом.

Градуировка производится в области давлений от 10^{-1} до $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст..

Область нормальной эксплуатации манометров составляет от 10^{-3} до $5 \cdot 10^{-8}$ мм рт.ст..