

"Лабораторная работа № 2.3.1 "

Петров Артём Антонович, группа 721

17 апреля 2018 г.

Цель работы: 1) (техническая) измерение объёмов форвакуумной и высоковакуумной частей установки. 2) определение скорости откачки системы в разных режимах.

Оборудование: вакуумная установка.

Теория:

Рассмотрим процесс откачки.

Производительность насоса определяется скоростью откачки W (л/с): объёмом газа, удаляемым из сосуда за единицу времени при постоянном давлении P . Основное уравнение, описывающее процесс откачки:

$$-VdP = (PW - Q_d - Q_p - Q_o)dt \quad (1)$$

Где Q_d - кол-во газа, десорбирующегося с поверхности сосудов, Q_p - кол-во газа поступающее назад из насоса, Q_o - кол-во газа, поступающего из внешней среды. Q измеряется в величинах PV (домножением на RT/μ получим массу газа). Видно, что процесс откачки системы зависит не только от W .

При установившемся предельном давлении P_{lim} получим:

$$\frac{dP}{dt} = 0$$

откуда,

$$P_{lim}W = Q_d + Q_p + Q_o \quad (2)$$

$$W = \frac{\sum Q_i}{P_{lim}}$$

Считая W , Q_d , Q_p и Q_o постоянными, проинтегрируем 1 используя 2:

$$P - P_{lim} = (P_0 - P_{lim}) \exp\left(-\frac{W}{V}t\right) \quad (3)$$

$\tau = V/W$ - постоянная времени откачки. Она является показателем эффективности откачки всей системы.

Рассмотрим теперь, от чего зависит скорость откачки системы. Математическое описание такой системы схоже с законами Кирхгофа для электрических цепей.

Из теории известно следующее соотношение при последовательном соединении элементов:

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_p} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad (4)$$

где W - скорость откачки системы, W_p - скорость откачки собственно насоса, C_1 , C_2 , ... - пропускные способности элементов системы.

Из 4 видно, что эффективность откачки значительно зависит не только от параметров насоса, но и от параметров труб и клапанов.

Рассмотрим течение газа через трубу. Характер течения газа существенно зависит от соотношения между размерами системы и длиной свободного пробега молекул.

Для количества газа, протекающего через трубу в условиях высокого вакуума (в кнудсеновском режиме) справедлива формула:

$$\frac{d(PV)}{dt} = \frac{4}{3} r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \frac{P_2 - P_1}{L} \quad (5)$$

где P_1 и P_2 - давление на концах трубы, r - радиус трубы, L - длина трубы.

Приняв P_1 равным нулю, получим для газа покидающего установку при давлении $P = P_2$ такую формулу:

$$C_t = \frac{4}{3} \frac{r^3}{L} \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \quad (6)$$

где C_t - пропускная способность трубы. Также при расчёте вакуумных установок полезной является необходимым учитывать пропускную способность отверстий (например, кранов). Для них есть формула:

$$\nu = \frac{1}{4} S n \bar{v} \quad (7)$$

где ν — число молекул, вылетающих из отверстия в вакуум в единицу времени, S — площадь отверстия, n — концентрация молекул перед отверстием, \bar{v} — средняя скорость молекул газа.

Подставляя $\nu = dN/dt$, $N = PV/kT$, $n = p/kT$ в 7 получим для газа, покидающего установку через отверстие при постоянном давлении P :

$$C_h = \left(\frac{dV}{dt}\right)_h = S \frac{\bar{v}}{4} \quad (8)$$

где C_h - пропускная способность отверстия.

Для диффузионного насоса можно считать, что все молекулы, прошедшие через входное отверстие будут затянуты струёй пара, а значит для него W_p будет равна C_h отверстия, с площадью, равной площади кольцевого зазора на входе в диффузионный насос, с одной стороны которого откачиваемый газ, а с другой - пустота.

Установка:

Схема установки показана на рис. 1.

Устройство используемых манометров и вакуумных насосов полагается общеизвестным и не требующим детального рассмотрения в рамках этой работы.

Ход работы:

1) определение объёмов частей установки:

- 1) Напустим атмосферу в установку.
- 2) Запрём немного воздуха при атмосферном давлении между кранами K_5 и K_6 .
- 3) Откачаем установку форвакуумным насосом
- 4) Отключим насос и подготовим масляной манометр к измерениям.
- 5) Выпустим запёртый воздух в форвакуумную часть установки. По закону Бойля-Мариотта вычислим объём форвакуумной части. Зная изначальные давление и объём запёртого воздуха.

6) Соединим высоковакуумную часть с форвакуумной. По закону Бойля-Мариотта вычислим объём высоковакуумной части.

7) Повторим измерения ещё раз.

2) определение скорости откачки:

- 1) Откачаем установку до высокого вакуума согласно инструкции и запишем значение P_{lim} .

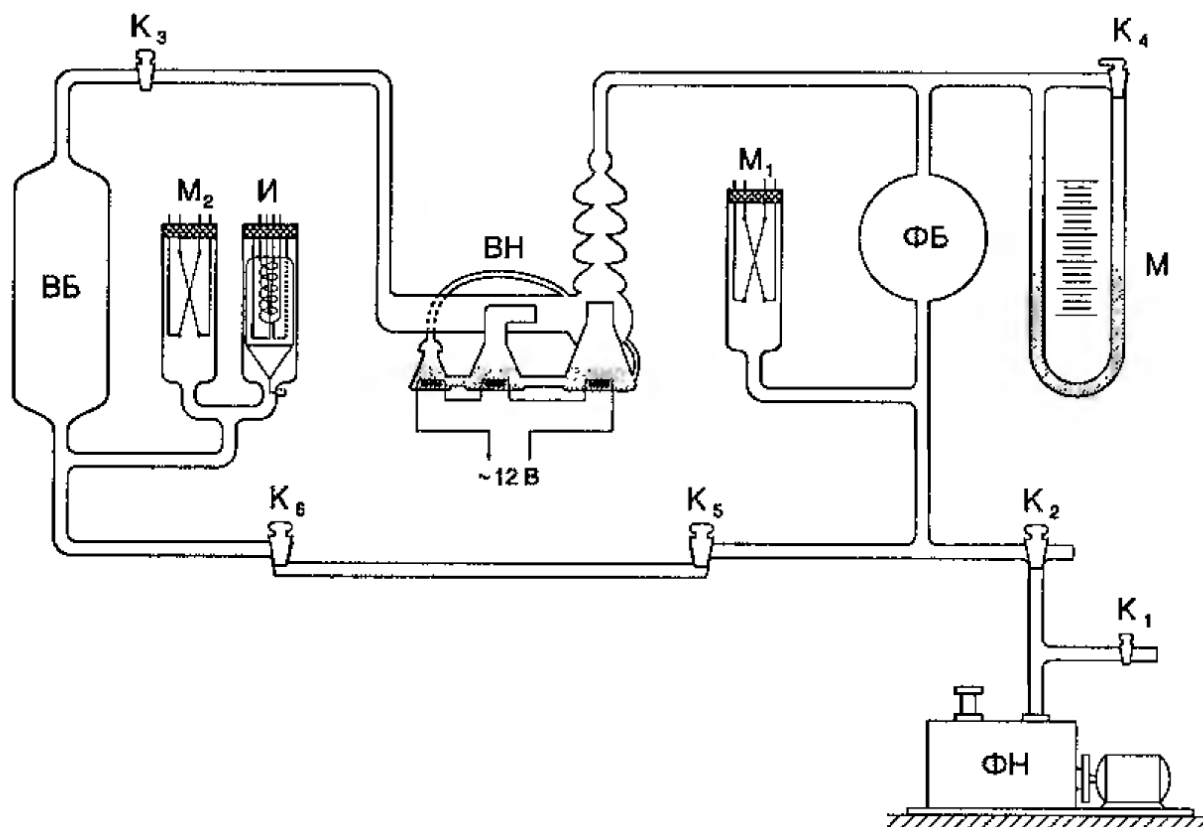


Рис. 1: Схема установки: ФН - форвакуумный насос, ФБ - ворвакуумный объём, ВН - высоковакуумный насос, ВБ - высоковакуумный объём, $M_1, M_2, M, И$ - два термопарных, масляной и ионный манометры соответственно, $K_1 - K_6$ - краны. Между кранами K_5 и K_6 расположен капилляр. K_3 отделяет высоковакуумную часть установки от форвакуумной. K_4 служит для "включения" масляного манометра. K_1 и K_2 обеспечивают работу форвакуумного насоса.

2) Найдём скорость откачки по улучшению вакуума во время откачки. (Снимем зависимость $P(t)$ при улучшении вакуума и по ней найдём W)

3) Рассчитаем Q_o . (Снимем зависимость $P(t)$ при ухудшении вакуума и по ней найдём Q_o).

4) Повторные измерения пунктов 2-3.

5) Оценим пропускную способность трубки от высоковакуумного баллона до диф. насоса и сравним её с W .

6) Создадим искусственную течь с помощью открытия капилляра. И измерим P_{stable} .

7) Рассчитаем производительность насоса по P_{lim} и P_{stable} . (по 5 найдём скорость протекания газа через капилляр. По 1 для случаев, когда капилляр перекрыт и когда он открыт:

$$P_{lim}W = Q, P_{stable}W = Q + \frac{d(PV)_{tube}}{dt}$$

где Q - сумма всех натеканий. Избавившись от нее можно найти W .

8) Выключим установку согласно инструкции.

Записи из журнала:

Итог: