

Получение и измерение вакуума

2.3.1

Цель работы:

- Измерение объёмов форвакуумной и высоковакуумной частей установки
- Определение скорости откачки системы в стационарном режиме, а также по ухудшению и по улучшению вакуума.

В работе используются: вакуумная установка с манометрами: масляным, термпарным и ионизационным.

Теория

По степени разрежения вакуумные установки принято делить на три класса:

- низковакуумные — до $[10^{-2}; 10^{-3}]$ торр
- высоковакуумные — $[10^{-4}; 10^{-7}]$ торр
- установки сверхвысокого вакуума — $[10^{-8}; 10^{-11}]$ торр

С физической точки зрения низкий вакуум переходит в высокий, когда длина свободного пробега молекул газа оказывается сравнима с размерами установки (а течение газа становится сугубо молекулярным). Сверхвысокий вакуум характерен крайней важностью процессов адсорбции и десорбции частиц на поверхности вакуумной камеры.

Формула диффузии:

$$\frac{dN}{dt} = D \frac{dn}{dx} S$$

$$D = \frac{\lambda \bar{v}}{3}, \lambda = 2r \Rightarrow D = 2r\bar{v}/3 \quad (\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}) \quad \frac{dn}{dx} = \frac{n_1 - n_2}{L}$$

Формула Кнудсена:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{4}{3} r^3 \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}} \frac{n_1 - n_2}{L}$$

Итоговая формула скорости убывания массы:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{4}{3} \boxed{r^3} \sqrt{\frac{2\pi \mu}{RT}} \frac{P_1 - P_2}{l}$$

Формула Пуазейля для сплошной среды:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{3\pi}{32} \frac{\boxed{r^4}}{\lambda} \sqrt{\frac{2\pi m}{kT}} \frac{P_1 - P_2}{L}$$

Основное отличие формул для расхода газа, имеющего свойства сплошной среды, и в случае очень разреженного газа в том, что расход сплошной среды пропорционален r^4 , а разреженной — только r^3

На границе раздела фаз силы межмолекулярного взаимодействия не скомпенсированы из-за разной плотности вещества, и поэтому пограничный слой обладает избытком энергии. Поглощение какого-либо вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем жидкости или твёрдого тела называется **адсорбцией**.

Важные константы:

В данной работе изучаются традиционные методы откачки механическим форвакуумным насосом до давления 10^{-2} торр и диффузионным масляным насосом до давления 10^{-5} торр, а также методы измерения вакуума в этом диапазоне.

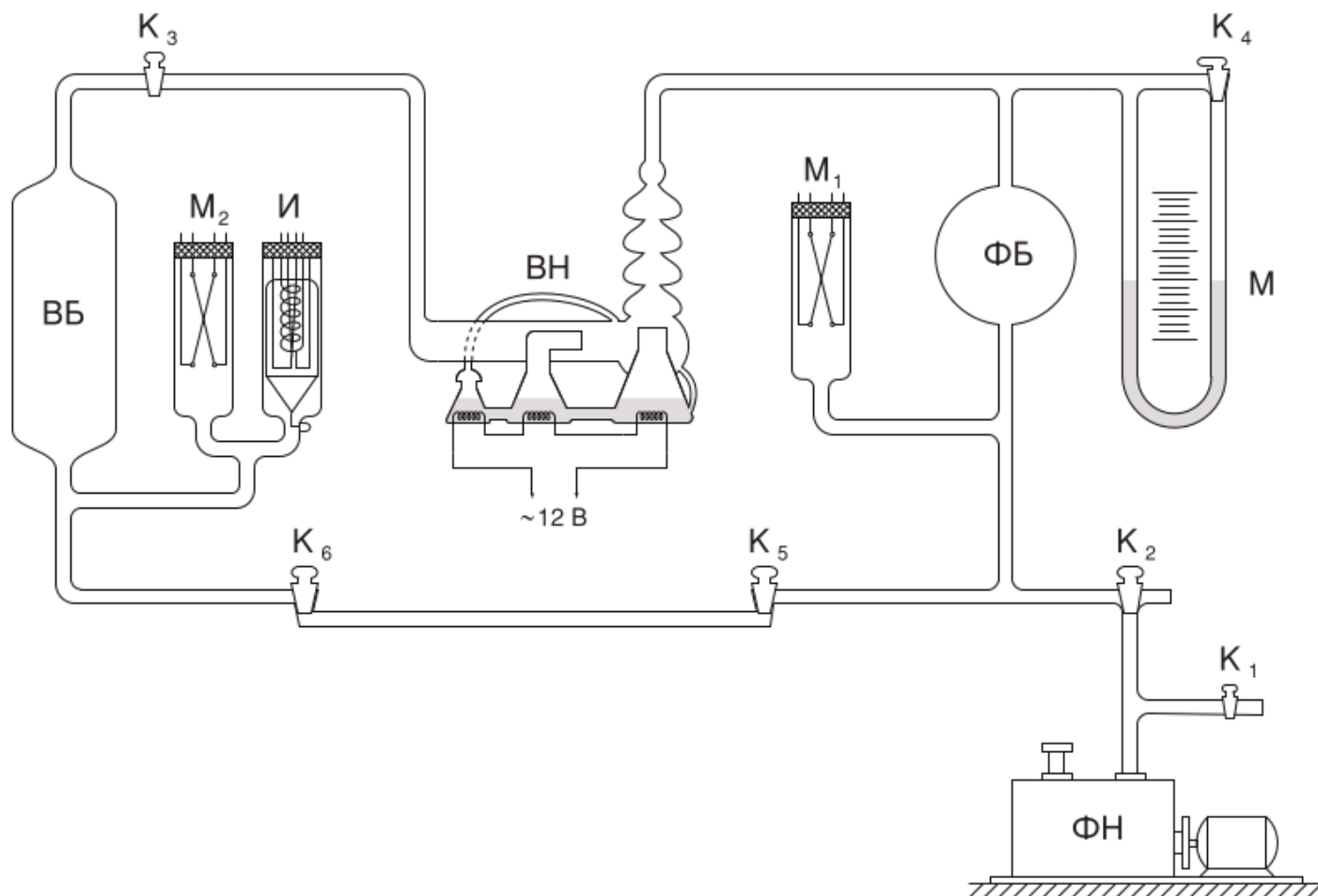


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

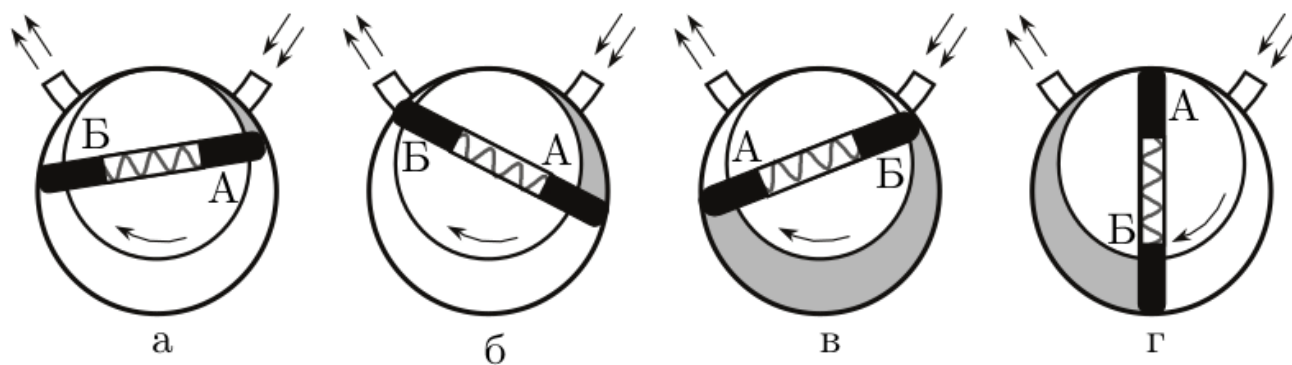


Рис. 2: Схема действия ротационного двухпластинчатого форвакуумного насоса. В положениях «а» и «б» пластина «А» засасывает разреженный воздух из откачиваемого объёма, а пластина «Б» вытесняет ранее захваченный воздух в атмосферу. В положениях «в» и «г» пластины поменялись ролями

Измеряем пройденное расстояние линейкой, а время – секундомером, находим $v_{\text{уст}}$. Радиус шарика измеряем горизонтальным компаратором/микроскопом (для каждого шарика измеряем несколько диаметров и

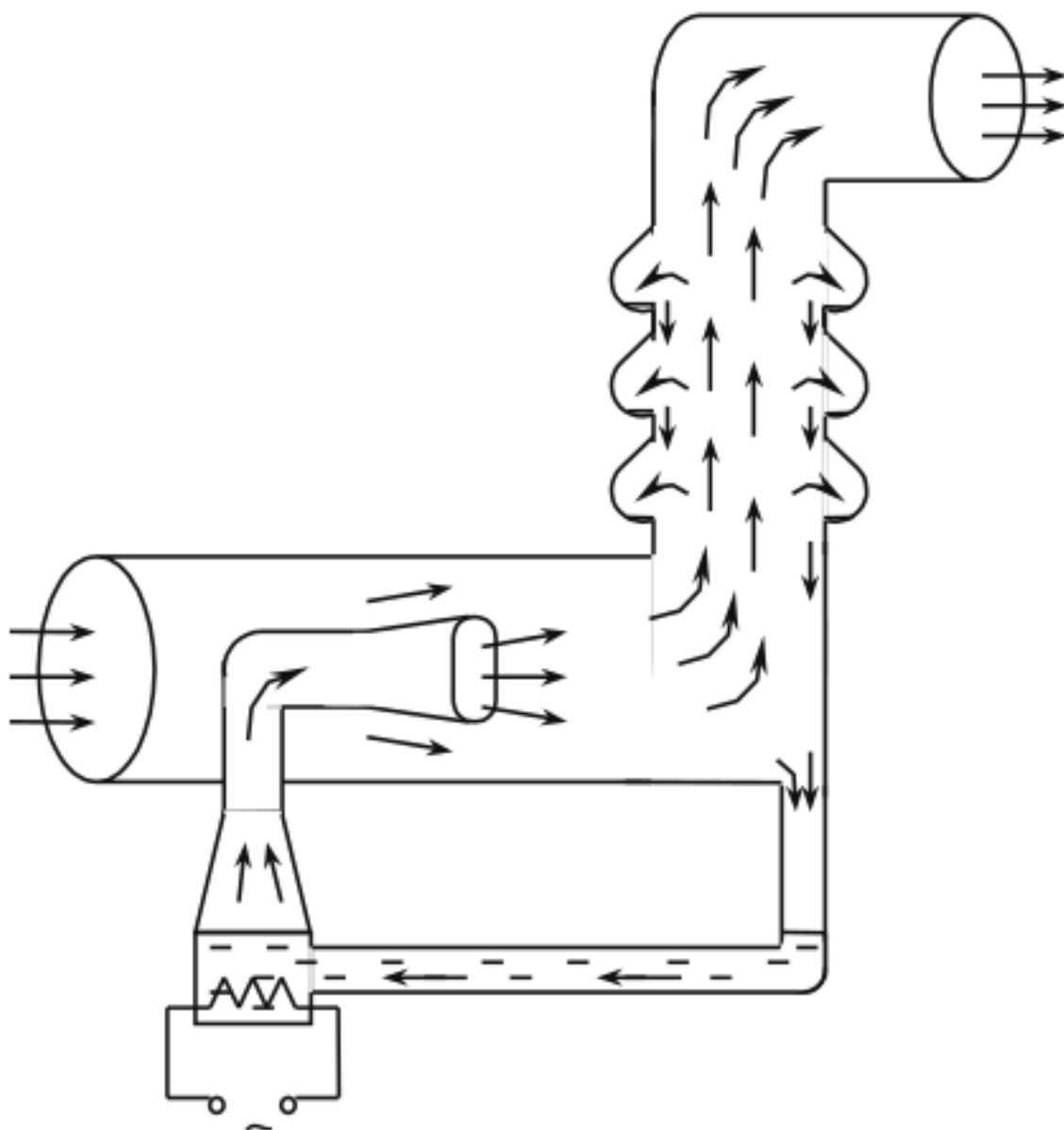


Рис. 3: Схема работы диффузионного насоса

берём среднее). Плотность шариков и жидкости – табличные значения.

Опыты проводятся при нескольких температурах в интервале от комнатной до 320 – 330 К.

Для каждой температуры проводим измерения с разными диаметрами шариков.

Построим график в координатах $\ln \eta (T^{-1})$.

Если во всем диапазоне встречающихся в работе скоростей и времён релаксации вычисленные по нашей формуле значения η оказываются одинаковыми, то формула Стокса правильно передаёт зависимость сил от радиуса шарика. Если всё-таки наблюдается корреляция η и r , то нужно использовать формулу:

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho - \rho_{\text{ж}}}{v_{\text{уст}}} \cdot \frac{1}{1 + 2.4(r/R)}$$

где R – радиус сосуда.

Ход работы

Определение объёма форвакуумной и высоковакуумной частей установки

0. Проверим, что все краны в правильном положении.

1. Откроем кран К2, подождём несколько минут пока воздух заполнит установку

- Откачаем форвакуумным насосом воздух до давления порядка 10^{-2} торр.
- Впустим воздух в форвакуумную часть установки через КН и измерим давление.
- Отсоединим установку от форвакуумного насоса, откроем на всю форвакуумную часть в краны и капилляры.
- Зафиксируем давление. Высота масла в манометре:

$$h_1 = (38.4 \pm 0.2)\text{см}, h_2 = (11.6 \pm 0.2)\text{см} \Rightarrow \Delta h_{\text{фв}} = (26.8 \pm 0.3)\text{см}$$

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2} \approx 0.3\text{см} \Rightarrow \varepsilon_{\Delta h} = 1 \%$$

- Объем "запертой" части установки $V_{\text{кап}} = 50\text{см}^3$, используя соотношение $P_A V_{\text{кап}} = P_2 V_2$ вычислим объем форвакуумной части установки. При этом давление $P_1 = P_{\text{атм}} = 100\text{кПа}$, а относительная погрешность полученного значения равна относительной погрешности величины $\Delta h_{\text{фв}}$:

$$P_2 = \rho_{\text{масл}} g \Delta h_{\text{фв}} = 2.33 \text{ кПа}, \quad \rho_{\text{масл}} = 885 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V = \frac{P_1 V}{P_2} - V = 2.1$$

- Проведем те же самые измерения с диффузионным насосом и получим объем установки, из которой вычитанием объема форвакуумной части получается объем высоковакуумной части.

$$h_3 = (33.5 \pm 0.2), \quad h_4 = (16.6 \pm 0.2),$$

$$\Delta h = (16.9 \pm 0.3).$$

Погрешности высот определяются аналогично предыдущему пункту. Как и формула для полного объема установки, тогда:

$$V_{\text{полн}} = \frac{P_1}{\rho g \Delta h_{\text{полн}}} V \approx 3.4, \quad \varepsilon_V = \varepsilon_{\Delta h} \approx 2 \%.$$

В результате искомая величина равна:

$$V = V - V = 1.3, \quad \sigma_V = \sqrt{\sigma_V^2 + \sigma_V^2} = 0.07 \approx 0.1,$$

$$V = (1.3 \pm 0.1).$$

Вывод

Графики:

