

Отчет о выполнении
лабораторной работы 2.3.1

Получение и измерение вакуума
при турбомолекулярной откачке

Выполнил: Тимонин Андрей
Группа: Б01-208

Дата: 22.03.2023

1 Введение

Цель работы: 1) измерение объемов форвакуумной и высоковакуумной частей установки; 2) определение скорости откачки системы в стационарном режиме, ухудшение и улучшение вакуума.

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

2 Экспериментальная установка

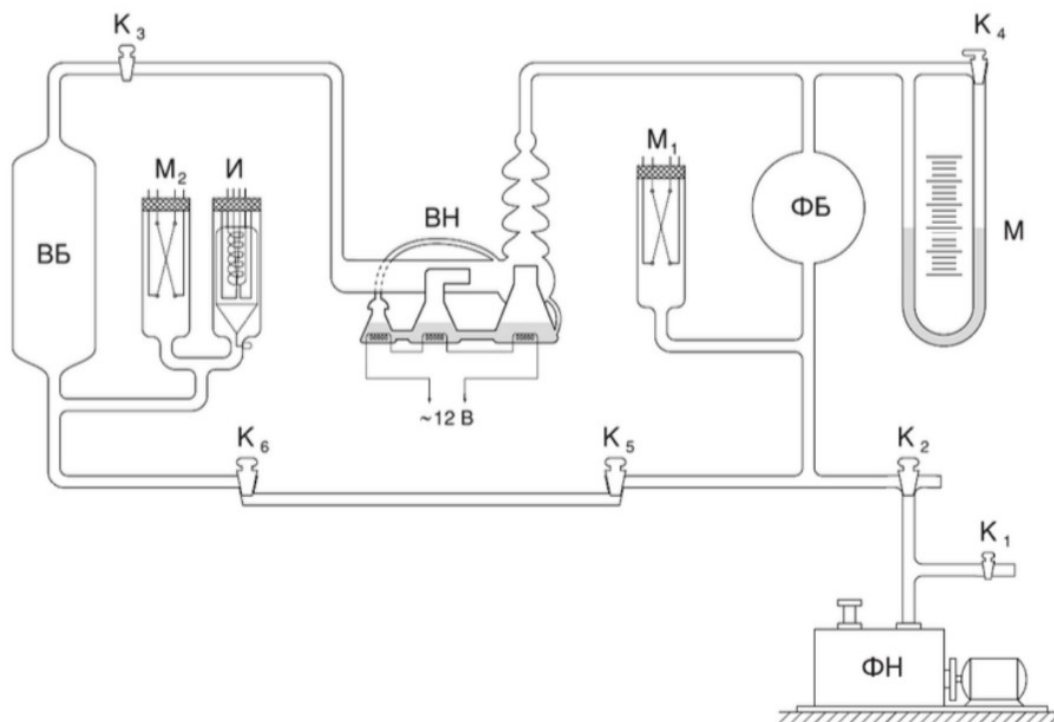


Рис. 1 Схема экспериментальной установки

Установка изготовлена из стекла, и состоит из форвакуумного баллона (ФБ), высоковакуумного диффузионного насоса (ВН), высоковакуумного баллона (ВБ), масляного (М) и ионизационного (И) манометров, термopарных манометров (M_1 и M_2), форвакуумного насоса (ФН) и соединительных кранов ($K_1, K_2, \dots K_6$) (Рис. 1). Кроме того, в состав

установки входят: реостат и амперметр для регулирования тока нагревателя диффузионного насоса.

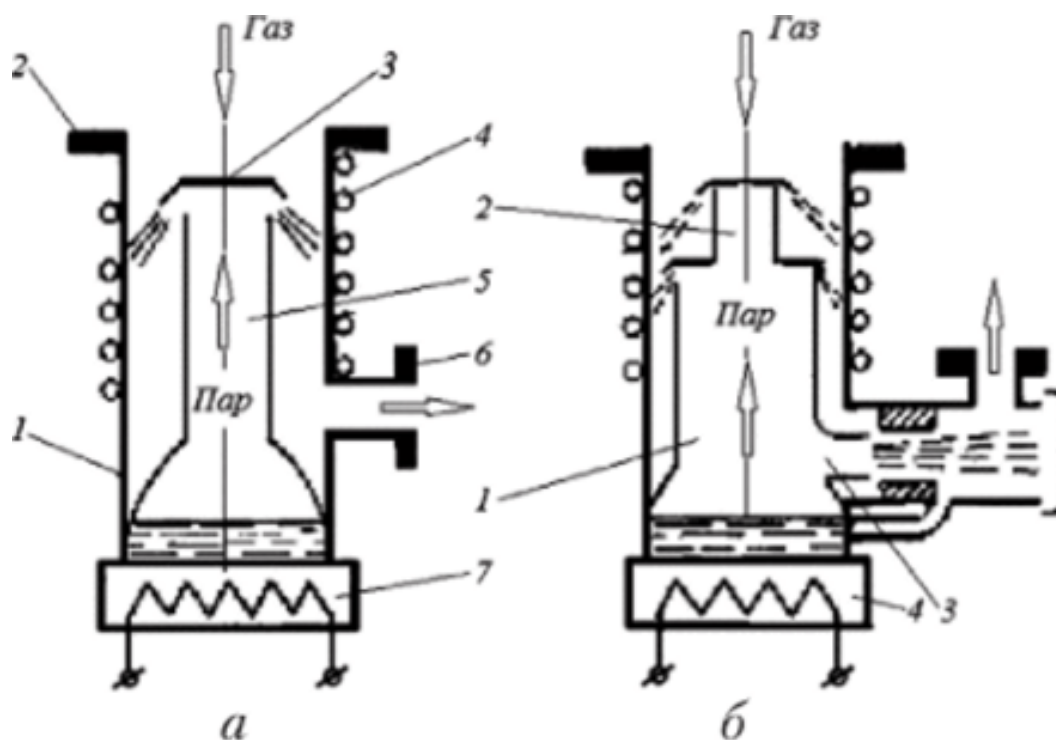


Рис. 2 Устройство диффузионного насоса (в лабораторной установке используется несколько откачивающих ступеней)

Принцип работы диффузионного насоса описан ниже:

Масло, налитое в сосуд, подогревается электрической печкой. Пары масла поднимаются по трубе и вырываются из сопла. Струя паров увлекает молекулы газа, которые поступают из откачиваемого сосуда через трубку. Далее смесь попадает в вертикальную трубу. Здесь масло осаждается на стенках трубы и маслосборников после чего стекает вниз, а оставшийся газ откачивается форвакуумным насосом.

3 Экспериментальные данные

3.1 Определение объемов форвакуумной и высоковакуумной частей установки

Дано:

- 1) Атмосферное давление 742.9 мм. рт. ст. ($P_{atm} = 99.04$ кПа)
- 2) $V = 50 \text{ см}^3$ - объём «запертого» в сиффоне воздуха
- 3) $P_1 = 2.5 \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст
- 4) Плотность масла: $8.85 \frac{г}{см^3}$
- 5) Плотность ртути: $13.6 \frac{г}{см^3}$

1. Проверим все краны установки.
2. Откроем краны и запустим воздух в установку (подождём 5 минут пока воздух заполнит установку).
3. Запрём объём воздуха V и включим форвакуумный насос.
4. Отсоединим установку от насоса и откроем кран сифона.
5. Запишем показания масляного манометра.

$$h_1 = (38 \pm 0.1) \text{ см. масляного столба}$$

$$h_2 = (12 \pm 0.1) \text{ см. масляного столба}$$

$$\Delta h_{1-2} = 26 \text{ см масляного столба}$$

$$P_{1-2} = 225.78 \text{ кПа}$$

6. Откроем кран, который соединяет установку с высоковакуумной частью и запишем данные.

$$h_3 = (34 \pm 0.1) \text{ см. масляного столба}$$

$$h_4 = (17.0 \pm 0.1) \text{ см. масляного столба}$$

$$\Delta h_{3-4} = 17 \text{ см масляного столба}$$

$$P_{3-4} = 147.6 \text{ кПа}$$

$$\sigma_{\Delta h_{1-2}} = \sqrt{\sigma_{h_1}^2 + \sigma_{h_2}^2} \approx 0.6 \% \quad \Delta h_{1-2} = (26.0 \pm 0.2) \text{ см} \quad (1)$$

$$\sigma_{\Delta h_{3-4}} = \sqrt{\sigma_{h3}^2 + \sigma_{h4}^2} \approx 0.7 \% \quad \Delta h_{3-4} = (17.0 \pm 0.1) cm \quad (2)$$

7. Вычислим объем форвакуумной части установки

$$V_{forv} = \frac{13.6 \cdot 742.9}{0.885 \cdot 26 \cdot 10} \cdot 50 = 2195.0 cm^3 \quad (3)$$

Отсюда получаем приблизительную погрешность определения объема форвакуумной части установки:

$$\varepsilon_{V_{total}} = \varepsilon_{\Delta h_{1-2}} \approx 1 \% \quad (4)$$

8. Вычислим объем высоковакуумной части установки

$$V_{vis-vac} = \frac{P_{atm} \cdot V}{P_{3-4}} - V_{forv} = \frac{13.6 \cdot 742.9 \cdot 50}{170 \cdot 0.885} - 2195.0 = 1162.0 cm^3 \quad (5)$$

Отсюда получаем приблизительную погрешность определения полного объема установки:

$$\varepsilon_{V_{total}} = \varepsilon_{\Delta h_{3-4}} \approx 1 \% \quad (6)$$

Найдем погрешность определения объема высоковакуумной части установки:

$$\sigma V_{vis-vac} = \sqrt{\sigma^2 V_{total} + \sigma^2 V_{forv}} = 0.01 \quad (7)$$

3.2 Получение высокого вакуума и измерение скорости откачки

$$P_{pred} = 4.0 \cdot 10^{-5}$$

мм. рт. ст

$$\text{ВИТ 16 } P = 3 \cdot 10^{-4} \text{ мм. рт. ст. } U = 9.93 mB$$

Построим график зависимости $\ln(P - P_0)$ от времени

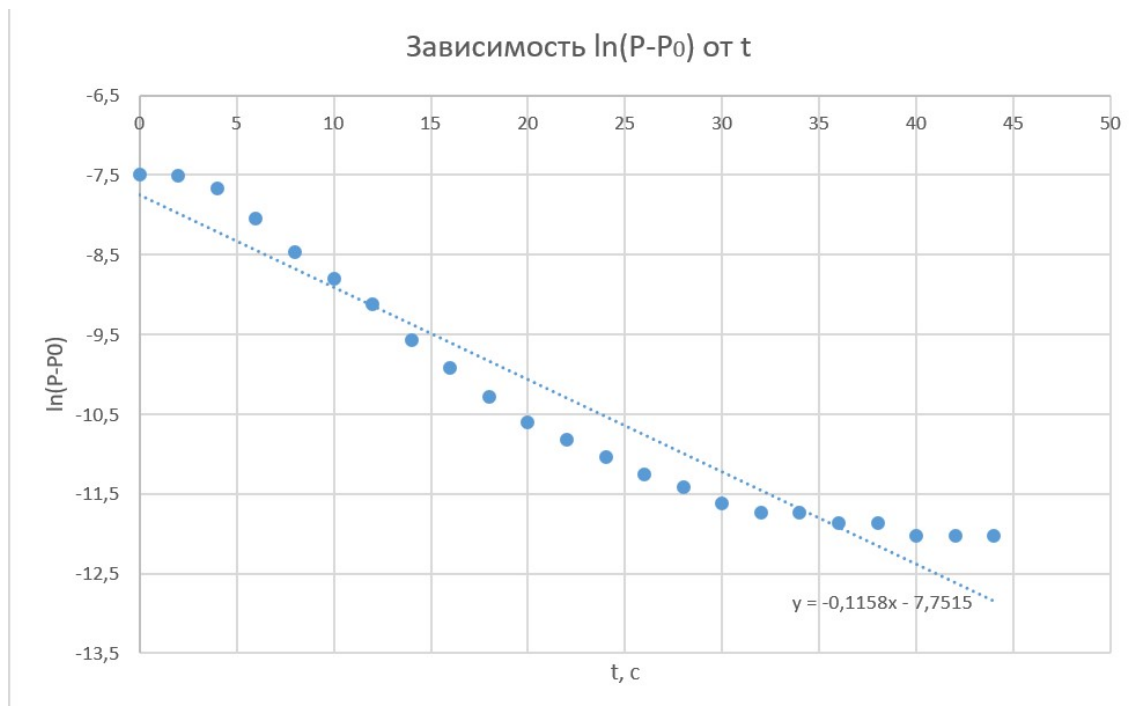


Рис 3. Улучшение вакуума

Для случая улучшения вакуума построим график зависимости ($\ln(P - P_{pred})$) от t . При построении такого графика из МНК получим коэффициент наклона $-k$, с помощью которого можно найти $W = -kV_{vis-vac}$. (объем газа, удаляемого из сосуда при данном давлении при единицу времени)

Оценим величину потока газа Q_h (обратный ток через насос) используя данные при ухудшении вакуума. Построим график зависимости $P(t)$. Поскольку $V_{vis-vac}dP = (Q_d + Q_i)dt$ получим $(Q_d + Q_i) = kV_{vis-vac}$.

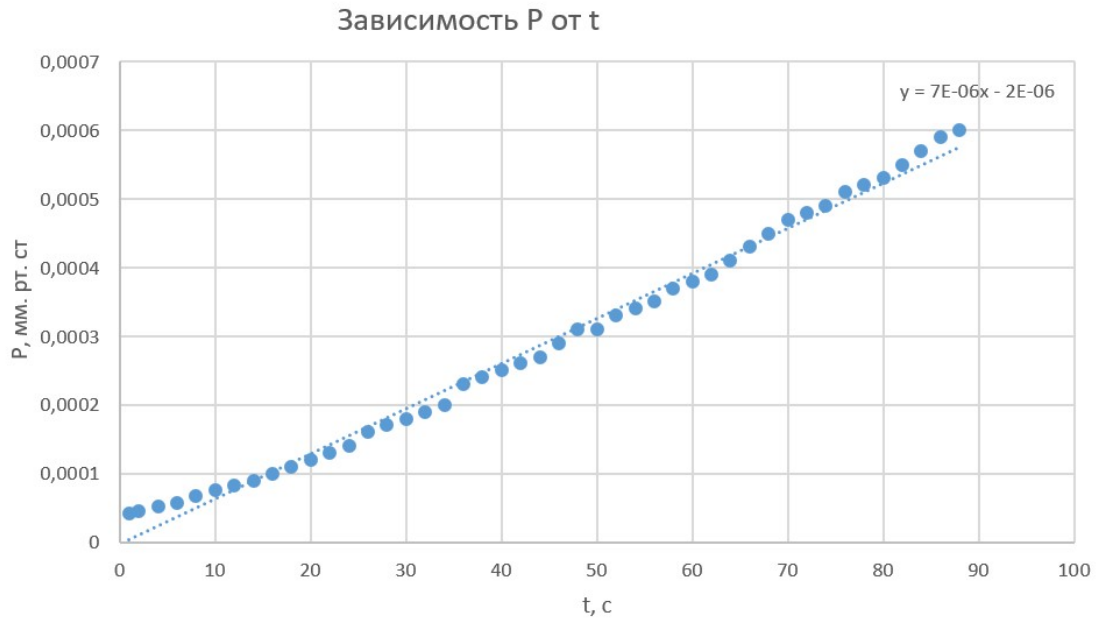


Рис 4. Ухудшение вакуума

Имеем:

$$W = -0.12 \cdot 1162.0 = -139.4 \frac{cm^3}{s} = -0.1394 \frac{l}{s} \quad (8)$$

и

$$Q_h = W \cdot P_{pred} - k \cdot V_{vis-vac} = -0.000139 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \cdot 9.81 \quad (9)$$

$$\cdot 13800 - 7 \cdot 10^{-6} \cdot 0.001162 = -7.4 \cdot 10^{-7} \frac{kg \cdot m^3}{s} \quad (10)$$

4 Вывод

- Нашли объемы форвакуумной и высоковакуумной установки, так же как и общий объем установки ($V_{forv} = 2195.0 \pm 22.0 cm^3$, $V_{vis-vac} = 1162.0 \pm 16.5 cm^3$, $V_{total} = 3407.0 \pm 34.1 cm^3$).
- Определили скорость откачки ($-139.4 \frac{cm^3}{s}$).
- Сделали оценку потока газа, который поступает из нашего насоса в откачиваемую систему установки ($-7.4 \cdot 10^{-7} \frac{kg \cdot m^3}{s}$).