

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий



Лабораторная работа 2.3.1

Получение и измерение вакуума

Автор:
Григорьев Даниил
Б01-407

1 Аннотация

Цель работы: 1) измерение объемов форвакуумной и высоковакуумной частей установки; 2) определение скорости откачки системы в стационарном режиме, а также по ухудшению и улучшению вакуума.

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

2 Теоретическая часть

2.1 Процесс откачки

Пусть W — объем газа, удаляемого из сосуда при данном давлении за единицу времени, Q_i для различных значений i обозначим различные притоки газа в сосуд (в единицах PV), такие как течи извне $Q_{\text{и}}$, десорбция с поверхностей внутри сосуда $Q_{\text{д}}$, обратный ток через насос $Q_{\text{н}}$. Тогда имеем:

$$-VdP = \left(PW - \sum Q_i \right) dt \quad (1)$$

При достижении предельного вакуума устанавливается $P_{\text{пр}}$, и $dP = 0$. В таком случае:

$$W = \frac{\sum Q_i}{P_{\text{пр}}} \quad (2)$$

Поскольку обычно $Q_{\text{и}}$ постоянно, а $Q_{\text{н}}$ и $Q_{\text{д}}$ слабо зависят от времени, также считая постоянной W , можем проинтегрировать (1) и получить:

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

Полная скорость откачки W , собственная скорость откачки насоса $W_{\text{н}}$ и проводимости элементов системы C_1, C_2, \dots соотносятся согласно формуле (4), и это учтено в конструкции установки.

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

2.2 Течение газа через трубу

Характер течения газа существенно зависит от соотношения между размерами системы и длиной свободного пробега молекул. При атмосферном и форвакуумном давлениях длина свободного пробега меньше диаметра трубок, и течение газа определяется его вязкостью, т.е. взаимодействием молекул. При переходе к высокому вакууму столкновения молекул между собой начинают играть меньшую роль, чем соударения со стенками.

Для количества газа, протекающего через трубу длины l и радиуса r в условиях высокого вакуума, справедлива формула:

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

Если труба соединяет установку с насосом, то давлением P_1 у его конца можно пренебречь. Давление в сосуде $P = P_2$. Тогда пропускная способность трубы:

$$C_{\text{тр}} = \left(\frac{dV}{dt} \right)_{\text{тр}} = \frac{4r^3}{3l} \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \quad (6)$$

3 Экспериментальная установка

Установка изготовлена из стекла, и состоит из форвакуумного баллона (ФБ), высоковакуумного диффузионного насоса (ВН), высоковакуумного баллона (ВБ), масляного (М) и ионизационного (И) манометров, термопарных 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.

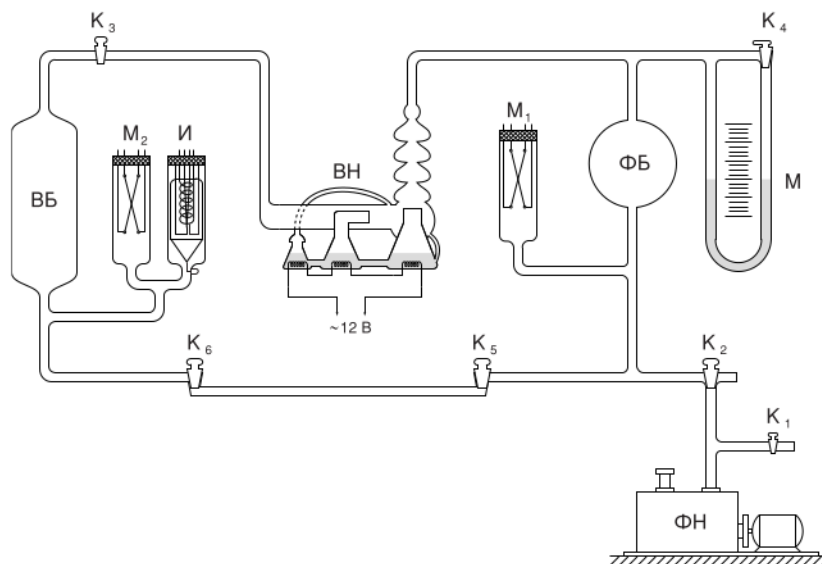


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

4 Ход работы

4.1 Определение объема форвакуумной и высоковакуумной частей установки

1. Атмосферное давление равно $P_A = (752 \pm 1)$ торр.
2. Впустим в установку атмосферный воздух через краны K_1 и K_2 .
3. Закроем краны K_5 и K_6 , запрем $V_{\text{зап}} = 50 \text{ см}^3$ воздуха.
4. Закроем краны K_1 и K_2 , включим форвакуумный насос. Подключим установку к форвакуумному насосу краном K_2 и откачаем ее до давления 10^{-2} торр.
5. Повернув рукоятку крана K_2 , отсоединим установку от форвакуумного насоса. Откроем кран K_1 .
6. Перекрыв K_3 , отделим ВБ от ФБ.
7. Закроем K_4 .
8. Откроем K_5 , измерим уровень масла слева и справа, которые дадут нам давление P_1 . Из закона Бойля-Мариотта $V_{\text{фв}} = V_{\text{зап}} P_A / P_1$.
9. Аналогичным методом измерим объем $V_{\text{вв}}$, открыв кран K_3 .

10. Результаты первого измерения в таблице 1. Погрешность измерения уровня примем $\Delta h = 0,1$ см.

h_1 , см	h_2 , см	P_1 , торр	h_3 , см	h_4 , см	P_2 , торр
35,0	15,0	13,0	31,6	18,8	8,3

Таблица 1. Таблица первых показаний масляного манометра.

Сотрудник лаборатории сразу понял, что измерения неверны, поэтому измерим второй раз, более внимательно. Результаты в таблице 2.

h_1 , см	h_2 , см	P_1 , торр	h_3 , см	h_4 , см	P_2 , торр
38,3	11,3	18,6	33,7	16,3	11,8

Таблица 2. Таблица вторых показаний масляного манометра.

Расхождения в измерениях скорее всего связаны с тем, что в первом случае при снятии измерений мы поторопились и не дождались равновесного положения жидкости в масляном манометре.

11. Получим $V_{\text{фв}} = (2139 \pm 40) \text{ см}^3$, $V_{\text{вв}} = (1180 \pm 30) \text{ см}^3$. Относительная погрешность может быть вычислена в обоих случаях как $\varepsilon_V = \varepsilon_P + \varepsilon_{P_A}$. $\varepsilon_{V_{\text{фв}}} = 0,2$, $\varepsilon_{V_{\text{вв}}} = 0,3$.