

Лабораторная работа № 2.3.1
Получение и измерение ваккума.

Никита Москвитин, Б04-204

2023

1 Аннотация

В данной работе получали вакуум, разной степени разрежения. Была определенная скорость откачки системы, а так же по ухудшению и улучшению вакуума.

2 Введение

Производительность насоса определяется скоростью откачки W (л/с): W — это объем газа, удаляемого из сосуда при данном давлении за единицу времени. Скорость откачки форвакуумного насоса равна емкости воздухозаборной камеры, умноженной на число оборотов в секунду. Рассмотрим обычную схему откачки. Разделим вакуумную систему на две части: «откачиваемый объем» (в состав которого включим используемые для работы части установки) и «насос», к которому, кроме самого насоса, отнесем трубопроводы и краны, через которые производится откачка нашего объема. Обозначим через Q_d количество газа, десорбирующегося с поверхности откачиваемого объема в единицу времени, через Q_i — количество газа, проникающего в единицу времени в этот объем извне — через течи. Будем считать, что насос обладает скоростью откачки W и в то же время сам является источником газа; пусть Q_n — поток газа, поступающего из насоса назад в откачиваемую систему. Будем измерять количество газа Q_d , Q_i и Q_n в единицах PV (легко видеть, что это произведение с точностью до множителя RT/μ равно массе газа). Основное уравнение, описывающее процесс откачки, имеет вид

$$-VdP = (PW - Q_d - Q_n - Q_i)dt. \quad (1)$$

Левая часть этого уравнения равна убыли газа в откачиваемом объеме V , а правая определяет количество газа, уносимого насосом, и количество прибывающего вследствие перечисленных выше причин за время dt . При достижении предельного вакуума (давление P_{pr})

$$\frac{dP}{dt} = 0, \quad (2)$$

$$W = \frac{\sum Q_i}{P_{pr}}. \quad (3)$$

Обычно Q_i постоянно, а Q_n и Q_d слабо зависят от времени, поэтому в наших условиях все эти члены можно считать постоянными. Считая также постоянной скорость откачки W , уравнение ((1)) можно проинтегрировать и, используя (2), получить

$$P = P_o \exp\left(-\frac{W}{V}t\right) + P_{pr}. \quad (4)$$

Характер течения газа существенно зависит от соотношения между размерами системы и длиной свободного пробега молекул. При атмосферном давлении и даже при понижении давления до форвакуумного длина свободного пробега меньше диаметра трубок и течение откачиваемого газа определяется его вязкостью, т. е. взаимодействием его молекул. При переходе к высокому вакууму картина меняется. Столкновения молекул между собой начинают играть меньшую роль, чем соударения со стенками. Течение газа в трубе напоминает в этих условиях диффузию газа из области больших концентраций в области, где концентрация ниже, причем роль длины свободного пробега играет ширина трубы. Для количества газа, протекающего через трубу в условиях высокого вакуума или, как говорят, в кнудсеновском режиме, справедлива формула

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

Применим эту формулу к случаю, когда труба соединяет установку с насосом. Пренебрежем давлением P_1 у конца, обращенного к насосу. Будем измерять количество газа, покидающего установку при давлении $P = P_2$. Пропускная способность трубы

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

Мы видим, что пропускная способность зависит от радиуса трубы в третьей степени и обратно пропорциональна ее длине. В вакуумных установках следует поэтому применять широкие короткие трубы.

При расчете вакуумных систем нужно принимать во внимание также пропускную способность отверстий, например, в кранах. Для диффузионного насоса можно считать, что каждая молекула воздуха, попавшая в кольцевой зазор между соплом и стенками насоса, увлекается струей пара и не возвращается обратно в откачиваемый объем. Скорость откачки такого насоса можно считать равной пропускной способности отверстия с площадью, равной площади кольцевого зазора, т. е. насос качает как кольцевой зазор, с одной стороны которого расположен откачиваемый объем, а с другой – пустота.

3 Экспериментальная установка

По степени разрежения вакуумные установки принято делить на три класса: 1) низковакуумные — до 10^{-2} – 10^{-3} торр; 2) высоковакуумные — 10^{-4} – 10^{-7} торр; 3) установки сверхвысокого вакуума — 10^{-8} – 10^{-11} торр. 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. Установка изготовлена из стекла и состоит из форвакуумного баллона

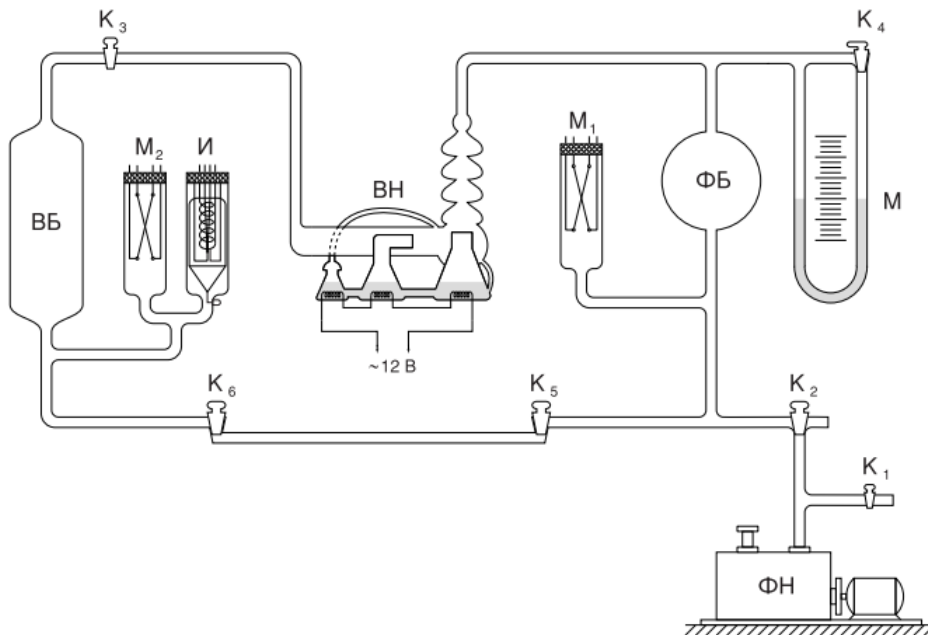


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

(ФБ), высоковакуумного диффузионного насоса (ВН), высоковакуумного баллона (ВБ), масляного (М) и ионизационного (И) манометров, термопарных манометров (М1 и М2), форвакуумного насоса (ФН) и соединительных кранов К1, К2, ..., К6 (рис. 1). Кроме того, в состав установки входят: вариатор (автотрансформатор с регулируемым выходным напряжением), или реостат и амперметр для регулирования тока нагревателя диффузионного насоса.

4 Измерения

С помощью масляного манометра и запираания воздуха при атмосферном давлении в капилляре, получаем что объемы частей установок соответственно: $V_f = 2,16 \pm 0,03$ л, $V_v = 1,20 \pm 0,03$ л.

Построим 2 графика давление от времени для улучшения ваккум в логарифмическом масштабе, а для ухудшения в прямом. Они соответственно предсталенны на Рис. 2 и Рис.3.

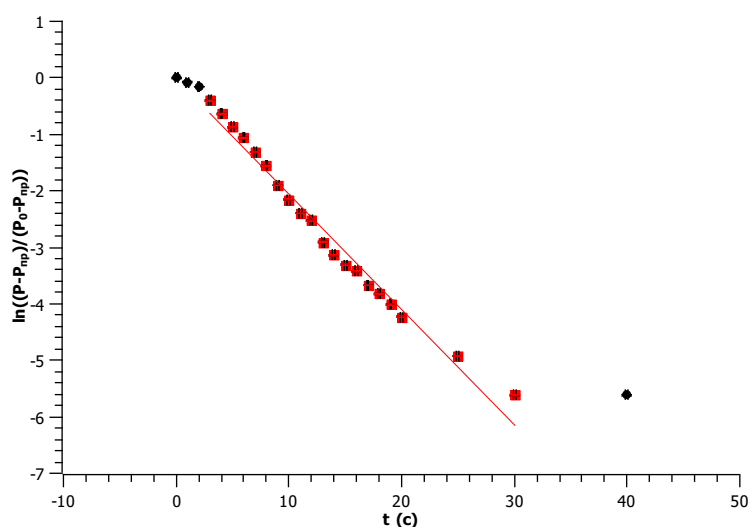


Рис. 2: График зависимости давления от времени при улучшении ваккума в логарифмическом масштабе

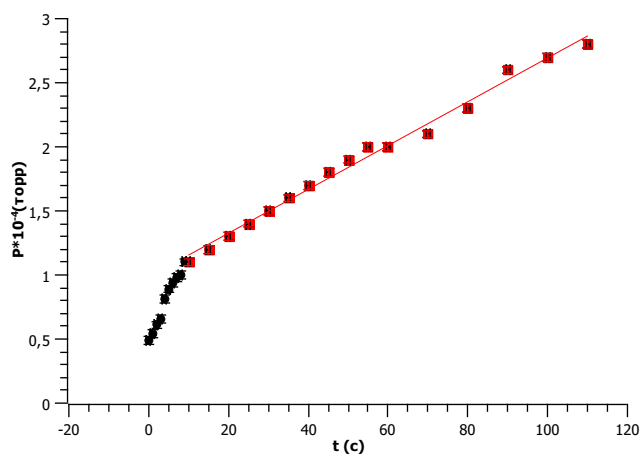


Рис. 3: График зависимости давления от времени при ухудшении ваккума

5 Обработка результатов

Выходит, что $P_{\text{пред}} = (2,5 \pm 0,1) * 10^{-5}$ торр, а $P_{\text{уст}} = (1,6 \pm 0,1) * 10^{-4}$ торр.

Коэффициент наклона первого графика $k_1 = -(0,2041 \pm 0,0004) \frac{1}{\text{с}}$, из чего следует, что $W = (244,9 \pm 0,5) \frac{\text{см}^3}{\text{с}}$.

Коэффициент наклона второго графика $k_2 = \frac{Q_d + Q_i}{V_v} = (1,71 \pm 0,03) * 10^{-6} \frac{\text{торр}}{\text{с}}$, откуда следует, что $Q_n = (1,02 \pm 0,02) * 10^{-7} \frac{\text{л}}{\text{с}}$. Теперь посчитаем W другим способом:

$$W = \frac{4}{3} r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \frac{P_{\text{уст}} - P_f}{(P_{\text{уст}} - P_{\text{пред}})L} = (1,9 \pm 0,2) \frac{\text{см}^3}{\text{с}}$$

6 Вывод

Мы получили достаточно хороший вакуум, предельное значение давления $P_{\text{пред}} = (2,5 \pm 0,1) * 10^{-5}$ торр. W системы мы получили 2 способами, $W = (244,9 \pm 0,5) \frac{\text{см}^3}{\text{с}}$, это более правильное значение, чем $W = (1,9 \pm 0,2) \frac{\text{см}^3}{\text{с}}$. Потому что значение форвакуумного давление $P_f = 6 * 10^{-4}$ торр, чего нельзя добиться с помощью форвакуумного насоса.