

# Отчет о выполнении лабораторной работы 2.3.1

## Получение и измерение вакуума

Костылев Влад, Б01-208

4 апреля 2023 г.

### Аннотация

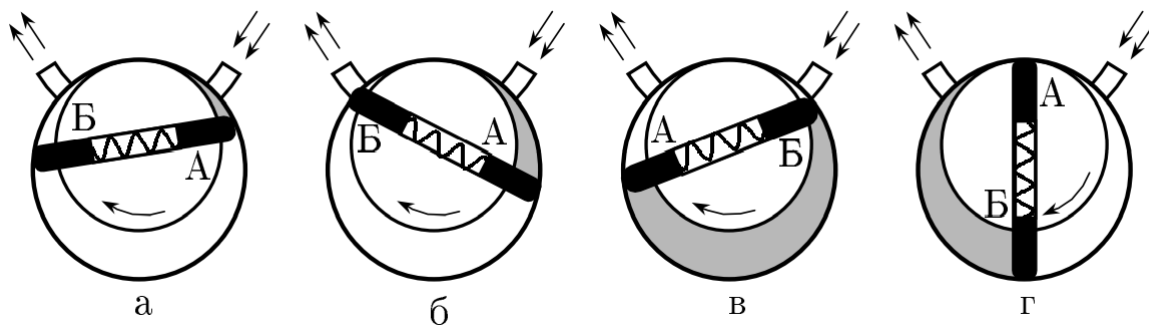
**Цель работы:** 1) измерение объёмов форвакуумной и высоковакуумной частей установки; 2) определение скорости откачки системы в стационарном режиме, а также по ухудшению и по улучшению вакуума.

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

## 1 Теоретическая справка

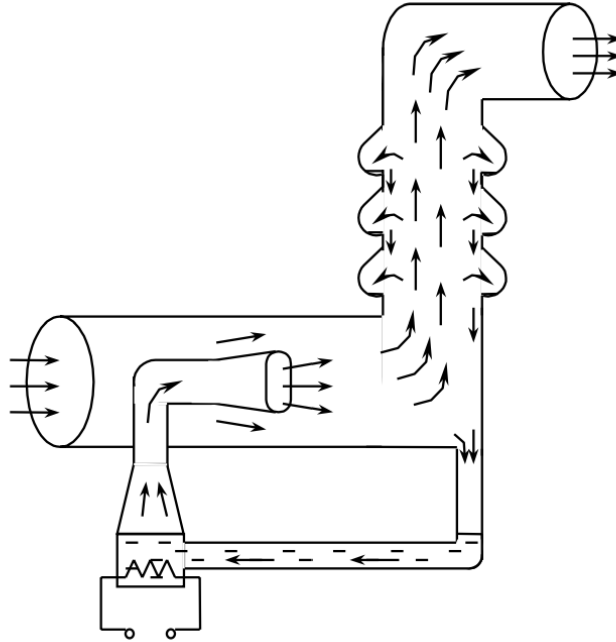
Вакуумные установки делят на три типа: низковакуумные ( $10^{-2} - 10^{-3} \text{ торр}$ ), высоковакуумные ( $10^{-4} - 10^{-7} \text{ торр}$ ), установки сверхвысокого вакуума ( $10^{-8} - 10^{-11} \text{ торр}$ ). Так же можно определить высокий вакуум как газ, в котором длина свободного пробега частиц сравнима с размерами установками.

**Форвакуумный насос.** В цилиндрической части насоса расположен ротор, который всегда соприкасается со своей верхней частью.



На рисунке можно видеть, как воздух порциями гоняется из правой трубки в левую из-за вращения ротора.

**Диффузионный насос.** Нагревается масло, пары которого выходят через сопло. Значит частицы воздуха направляются в ту же сторону. Воздух выходит из системы, а масло конденсируется на стенках колбы (в виде елочки) и стекает обратно в начальное положение установки. При работе с таким насосом важно, чтоб давление в системе было достаточно низким, чтобы образовался поток масляных паров. Иначе масло просто будет выгорать.



Скорость откачки диффузионного насоса намного выше скорости форвакуумного насоса, в чем нам предстоит убедиться.

$W$  - это объем газа, который удаляется из системы за секунду при данном давлении. Таким образом, скорость откачки форвакуумного насоса – это объем его воздушной камеры, умноженный на частоту ротора.

Обозначим количество газа, которое приходит в трубку в процессе откачки за  $Q$ . Тогда мы можем записать уравнение:

$$-VdP = (PW - Q)dt$$

Но при предельном давлении  $\frac{dP}{dt} = 0 \Rightarrow Q = P_{np}W$ . Подставим это в начальное уравнение и проинтегрируем и, учитывая что  $P_0 \gg P_{np}$ :

$$P - P_{np} = P_0 e^{-Wt/V}$$

Для течения газа через трубу при высоком вакууме справедлива формула:

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

Если пренебречь давлением  $P_1$  у конца, обращенного к насосу, получаем формулу для пропускной способности трубы:

$$C_{mp} = \frac{dV}{dt} = \frac{4}{3} \frac{r^3}{L} \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}}$$

Для пропускной способности отверстия (например в кранах) имеем формулу:

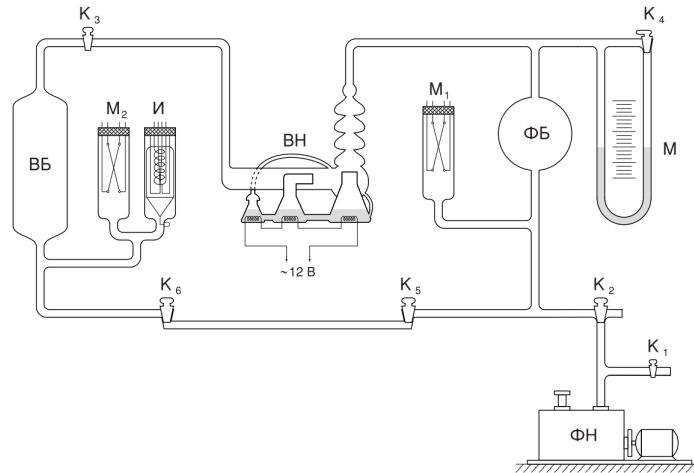
$$C_{отв} = S \frac{\bar{v}}{4}$$

## 2 Используемое оборудование

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

### 3 Методика измерений

Четко придерживаясь описанию работы, шаг за шагом выполняем задачу. Для начала находим объемы форвакуумной и высоковакуумной частей на установки, изображенной ниже:

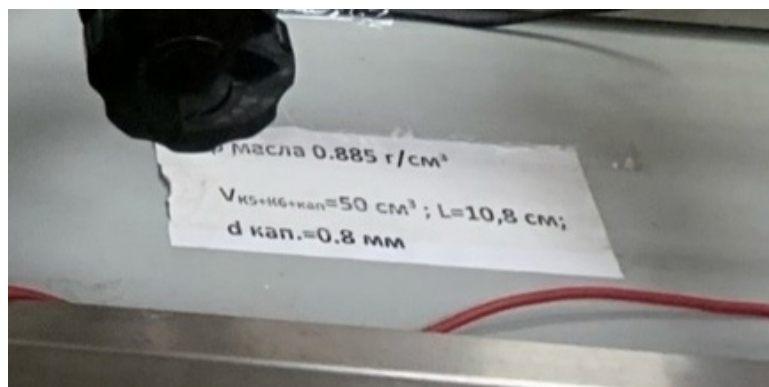


Все полученные данные вносим в таблицу для дальнейшей обработки. Далее мы хотим получить высокий вакуум с помощью диффузионного насоса и также обрабатываем данные.

### 4 Результаты измерений и обработка данных

#### 4.1 Определение объема форвакуумной и высоковакуумной частей установки

Возьмем данные с установки:



Зная объем запертого воздуха  $V_z = 50 \text{ см}^3$  и плотность масла  $\rho_m = 0,885 \text{ г/см}^3$  найдем сначала объем форвакуумной части, пользуясь законом Бойля-Мариотта:

$$V_{\text{фв}} = \frac{P_{\text{атм}} V_z}{\rho_m g (h_{\text{вв}} - h_{\text{вн}})}$$

Где  $h_{\text{вв}}, h_{\text{вн}}$  – это соответственно высота масляного столба вверху и внизу. Чтобы получить давление в мм.масл.ст нам нужна разность данных высот.

Подставим числа и рассчитаем погрешность, зная что  $dh = 0,1 \text{ см.масл.ст}$ :

$$V_{\text{фв}} = 2259,2 \pm 8,9 \text{ см}^3$$

Теперь рассчитаем объем общей части по такому же принципу:

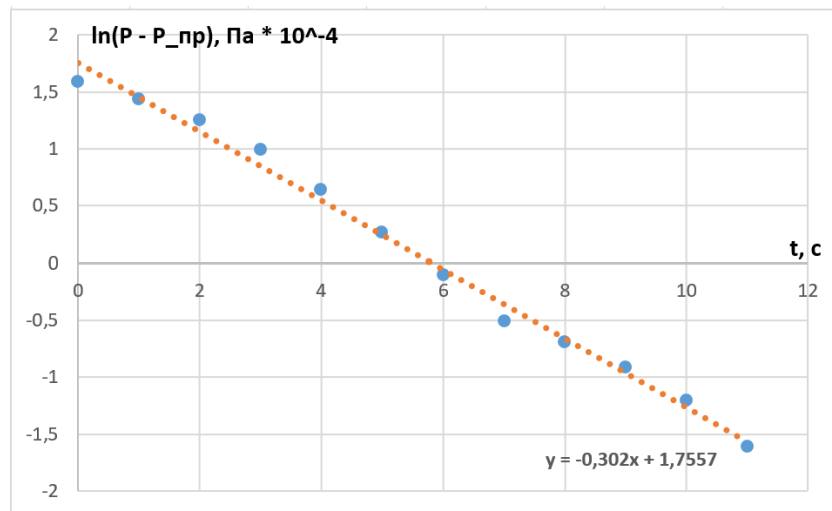
$$V_{общ} = 3536,2 \pm 21,9 \text{ см}^3$$

Вычтя, найдем объем высоковакуумной части:

$$V_{\text{вв}} = V_{общ} - V_{\text{фв}} = 1277,0 \pm 30,8 \text{ см}^3$$

## 4.2 Получение высокого вакуума и измерение скорости откачки

С помощью диффузионного насоса, принцип работы которого написан выше, получаем высокий вакуум. Теперь найдем скорость откачки по улучшению вакуума. Для этого отключаем откачку, перекрыв кран КЗ и ждем ухудшения вакуума до примерно  $8 \cdot 10^{-4}$  торр, далее каждую секунду (после открытия крана КЗ) будем вносить данные в таблицу. Изобразим это на графике, предварительно прологарифмировав:



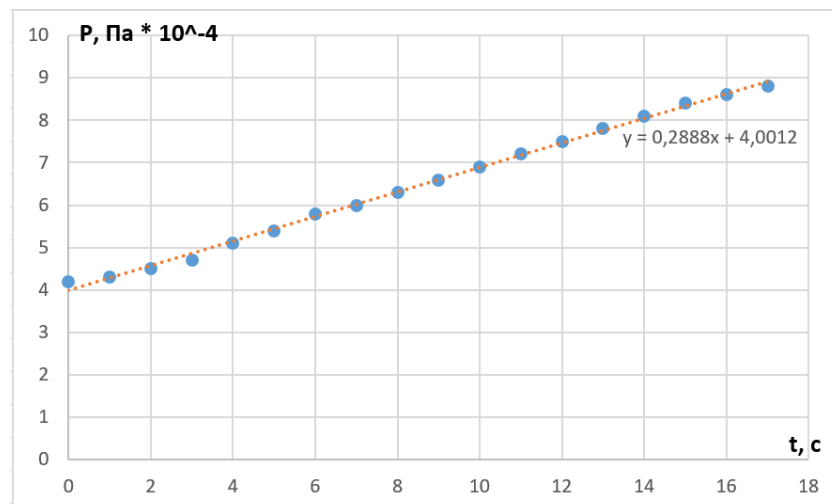
Построив линию тренда, найдем коэффициент прямой. Зная что:

$$\ln(P - P_{np}) = -\frac{W}{V}t + \ln P_0$$

найдем собственно скорость откачки:

$$W = -k \times V = 0,302 \times 1277 = 385,7 \pm 12,4 \text{ см}^3/\text{с}$$

Теперь проведем аналогичные действия для ухудшения вакуума:



$$Q' = kV_{\text{св}} = (36,7 \pm 0.8) \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$$

$$Q = P_{np}W = (46,2 \pm 1.3) \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$$

$$\text{Значит, } Q_n = Q - Q' = (9,5 \pm 2.1) \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$$

## 5 Заключение

Даже при не полностью исправном приборе, нам удалось получить давление собственное высокому вакууму и убедиться в экспоненциальной зависимости при откачке воздуха.