

Получение и измерение вакуума

Шмаков Владимир Евгеньевич

March 2022

1 Цель работы

Узнать о методах получения вакуума. Познакомиться с приборами, позволяющими получить вакуум и оценить их технические характеристики, а именно: объём форвакуумной части, объём высоковакуумной части, скорость откачки системы в стационарном режиме.

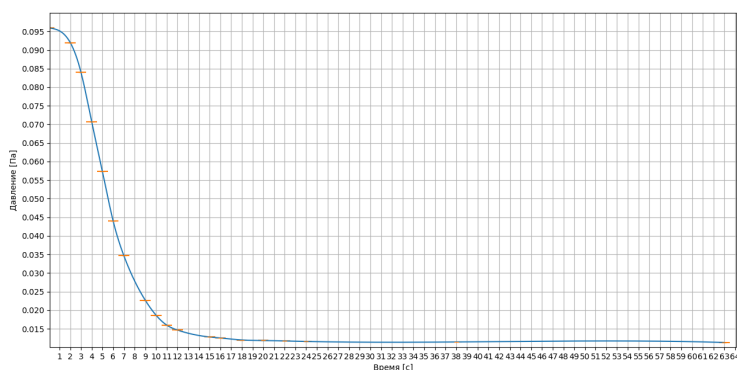
2 Оборудование

1. Термопарный манометр
2. Форвакуумный насос
3. Краны для изоляции некоторых объёмов установки
4. Высоковакуумный диффузионный насос
5. Баллоны
6. Инизиационный манометр

3 Обработка результатов эксперимента

3.1 Расчет скорости откачки

Построим график зависимости давления от времени при открытом кране 3, что соответствует улучшению вакуума:



Как видим, зависимость на участке 2-10 секунд напоминает экспоненциальную, что описывается формулой:

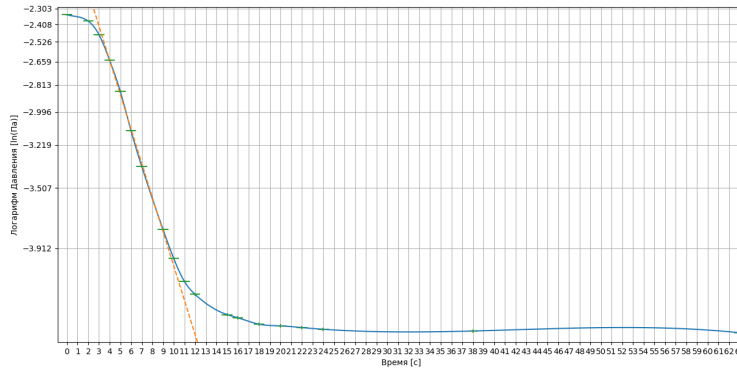
$$P = P_0 \exp - \frac{W}{V} \cdot t + P_{limit} \quad (1)$$

, где P_0 - некоторое начальное значение давления, W - скорость откачки,

P_{limit} - предельное значение давления

После участка экспоненциальной зависимости наблюдаем прямую, практически параллельную оси x . Значит в установке было достигнуто предельное давление, и коэффициент наклона $\alpha \rightarrow 0$.

Убедимся в экспоненциальной зависимости на участке 2-10, и рассчитаем скорость откачки W . Для этого построим график в логарифмическом масштабе по оси y и методом наименьших квадратов рассчитаем коэффициент наклона прямой:



$$\alpha = -0.230 \pm 0.005 \quad (2)$$

Выразим скорость откачки из формулы (1):

$$d \ln P = -\frac{W}{V} \cdot dt \quad (3)$$

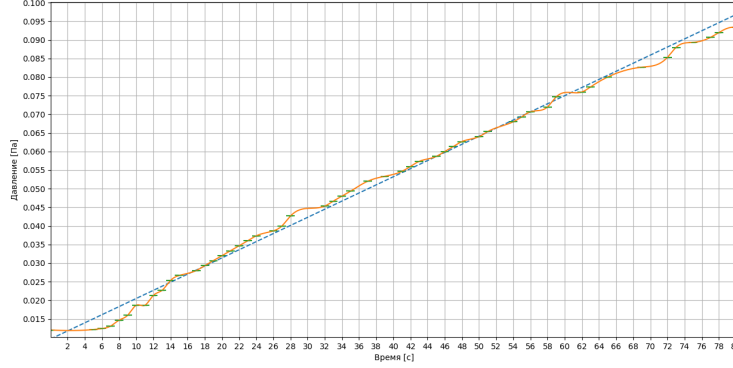
$$W = -\alpha V \quad (4)$$

Получим $W = 0.80 \pm 0.04$ л/с

3.2 Рассчитаем поток газа, поступающего из насоса в откачивающую систему

Теперь построим график зависимости давления от времени при ухудшении вакуума, методом наименьших квадратов оценим коэффициенты наклона:

$$\alpha = 1.09 \cdot 10^{-3} \pm 1 \cdot 10^{-5} \quad (5)$$



Воспользуемся основным уравнением, описывающим процесс откачки:

$$-VdP = (PW - Q_p + Q_{out} + Q_{desorb}) \cdot dt$$

Учтем, что во время выполнения данной части эксперимента течей извне создано не было: $Q_{out} = 0$. Получим:

$$Q_p = P_{limit}W - V_{hv}\alpha \quad (6)$$

Методом частных производных оценим погрешности, в результате получим значение: $Q_p = 0.0073 \pm 0.0005 \text{ Л*Па/с}$

Q измеряется в единицах PV , это произведение с точностью до множителя $\frac{RT}{\mu}$ равно массе газа. Перевести в единицы измерения кг/с не удалось, так как в таком случае нужно знать температуру, при которой проводился эксперимент.

3.3 Измерение скорости откачки в условиях течи

Воспользуемся формулами:

$$P_{limit}W = Q_1 \quad (7)$$

$$P_{set}W = Q_1 + \frac{d(PV)_k}{dt} \quad (8)$$

Выразим Q_1 - сумму натеканий без учета натекания через искусственную течь. Подставив выраженное значение в формулу (6) и рассчитав количество газа, проходящего через капилляр сможем рассчитать скорость откачки.

В результате получим: $W_1 = 0.560 \pm 0.012 \text{ л/с}$.

4 Вывод

С точностью 5% удалось рассчитать скорость откачки. Скорость откачки во втором эксперименте меньше скорости откачки в первом примерно на 25%. Очевидно, так как искусственная течь 'мешает' откачке.

Об аккуратности проведения эксперимента и правильной работе оборудования можно судить по малому коэффициенту наклона графика зависимости $P(t)$ в эксперименте по ухудшению вакуума и малая масса газа потсупающая в установку через насос.

Предельное давление, полученное в эксперименте, составило порядка $8.3 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.с, что соответствует длине свободного пробега порядка нескольких дециметров. Такой вакуум классифицируется как «высокий», так как равновероятно столкновение со стенками и с другими молекулами: $\lambda/d \approx 1$.