

Отчет о выполнении лабораторной работы №1.

Основы вакуумной техники.

Блуменау М. И., 04.11.2020

Оглавление

Аннотация.....	1
Теоретические сведения.....	1
Оборудование и инструментальные погрешности.....	2
Описание установки.....	3
Результаты эксперимента и обработка данных.....	3
Опыт 1.....	3
Опыт 2.....	6
Опыт 3.....	8
Погрешности.....	9
Вывод.....	9
Библиография.....	9

Аннотация

В данной работе изучаются методы измерения и контроля вакуума. Также в процессе её выполнения происходит ознакомление с работой вакуумного оборудования.

Теоретические сведения

Обычно выделяют несколько диапазонов давления, отличающихся режимами молекулярно-кинетических явлений в вакуумной системе:

- низкий вакуум: 1000 — 1 мбар
- средний вакуум: 1 — 10^{-3} мбар
- высокий вакуум: 10^{-3} — 10^{-7} мбар
- ультравысокий вакуум: 10^{-7} — 10^{-14} мбар

Где 1 мбар равен 100 Па.

Важнейшей характеристикой линии откачки является ее пропускная способность, которая определяется так:

$$C = \frac{q_{pV}}{\Delta p},$$

где - q_{pV} - поток газа через линию в единицах, а Δp - разность давлений на ее концах.

Если линия откачки состоит из нескольких элементов с пропускными способностями C_1 ,

C_2, \dots , то пропускная способность линии определяется по формуле, аналогичной формуле для проводимости последовательно соединенных резисторов:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

Важнейшей характеристикой насоса является его быстрота действия, которая определяется как объем газа, проходящий в единицу времени через входной патрубок насоса:

$$S = -\frac{dV}{dt}.$$

Воспользуемся $\frac{dN}{dt} \sim Sp = \frac{d(pV)}{dt} = |V = \text{const}| = V \frac{dp}{dt}$, откуда найдём:

$$S = \frac{V}{p(t)} \frac{dp(t)}{dt}.$$

Эта величина, как правило, зависит от давления на входе насоса. Существует два основных метода определения быстроты действия насоса - метод постоянного объема и постоянного давления. В методе постоянного объема мы следим за тем, как давление падает со временем в герметично закрытом объеме известной величины. При этом наклон зависимости логарифма давления от времени в каждой точке дает мгновенную быстроту действия насоса. В методе постоянного давления в откачиваемый объем запускают газ, причем поток этого газа известен. Тогда по зависимости установившегося давления в сосуде от потока натекания также можно определить быстроту действия насоса как функцию давления.

Из вышесказанного очевидно, что быстрота действия насоса зависит от давления на его входе и при достаточно низком давлении падает почти до нуля.

Представим себе теперь простейшую вакуумную систему, состоящую из откачиваемого объема, линии откачки с пропускной способностью C и насоса с быстротой действия S .

Пусть давление на входе насоса p_1 , а на выходе из откачиваемого объема p_2 . Для откачиваемого объема можно ввести понятие эффективной быстроты откачки, которое определяется как объем газа, удаляемый из сосуда в единицу времени при давлении p_2 . Так как поток газа в режиме стационарной откачки должен быть одинаков во всех частях рассматриваемой вакуумной системы, то

$$Sp_1 = S_{\text{eff}} p_2 = C(p_2 - p_1) \quad [1]$$

Оборудование и инструментальные погрешности

Оборудование было следующим:

1. Arduino Uno
2. Pfeiffer TRP281 (манометр Пирани)
3. ПМИ-2 и ПМТ-2
4. Pfeiffer HiCube 80 Eco
5. Ёмкостный датчик Thyracont
6. Манометр Пирани Thyracont

Погрешности таковы:

$$\Delta_{ARD} = \frac{5.0}{1024} = 4,8 \text{ mV}$$

$$\Delta_{TRP} = 0.1 \text{ V}$$

$$\Delta_{изм} = 1 \text{ mm}$$

Описание установки

Использовался откачной пост Pfeiffer Vacuum серии HiCube 80 Eco. При помощи хомутов, центрирующих и уплотнительных колец присоединялись датчики, сильфонный шланг, переходники и вентили (стандарт ISO-KF). Данные с датчика пирани снимались при помощи платы Arduino Uno через делитель напряжения (использовались два резистора по 100 кОм).



Иллюстрация 1: Установка.

Результаты эксперимента и обработка данных

Для начала необходимо уточнить, что все последующие графики построены в логарифмических координатах. При больших давлениях (до 10 Па) использовались данные датчика TRP281, далее использовались лампы, так как вскоре достигался порог значений датчика Пирани (в соответствии с его паспортом и тем фактом, что напряжение оставалось неизменным, хотя по данным МЕРАДАТ-ВИТ19ИТ1 давление продолжало меняться). Итоговые графики зависимостей накладывались друг на друга, так как был внешний таймер

и не составляло труда их совместить. Также использовалась программа (<https://apps.automeris.io/wpd/>) для получения координат точек графика МЕРАДАТ.

Опыт 1

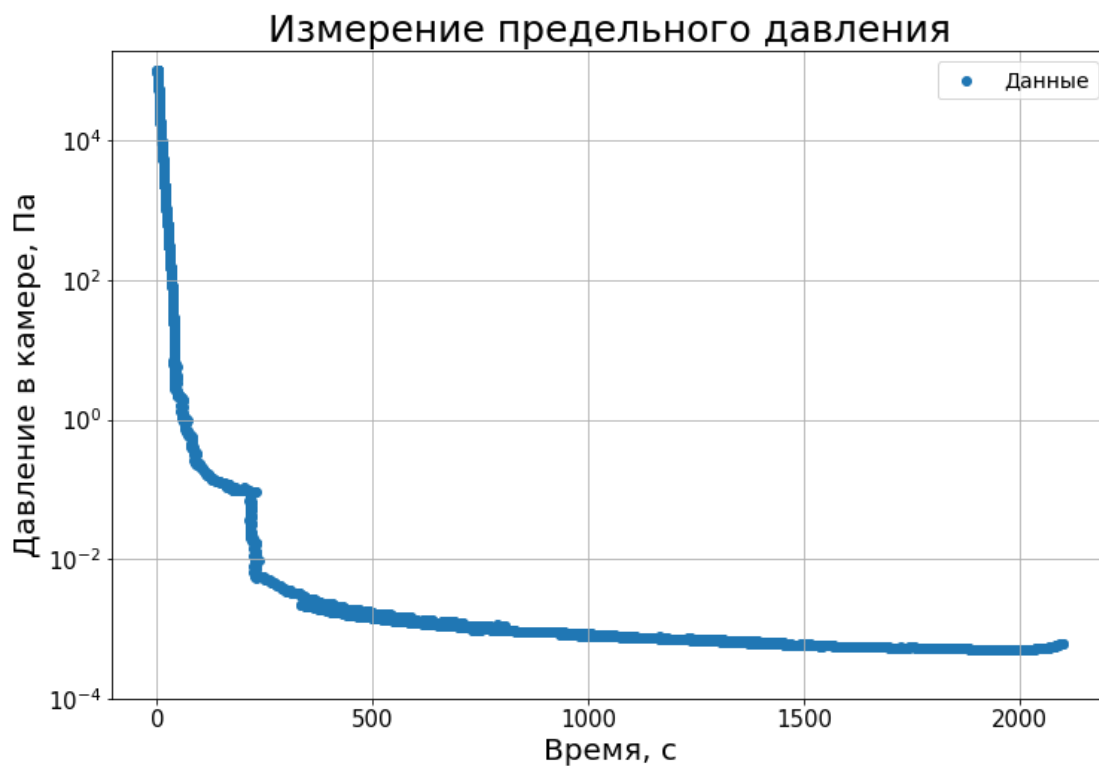


Иллюстрация 2: График $p(t)$, минимальное значение давления было $5.1e-4$ Па

Минимальное значение давления было $p = (5.1 \pm 0.7) \cdot 10^{-4}$. Далее было исследована быстрота действия насоса. Поскольку значения около предельного отличаются слабо, можно наблюдать следующую картину:



Иллюстрация 3: $S(p)$ в первом опыте.

Максимальное значение составило 14.1 л/с, среднее — 0.056 л/с. Объясняется это тем, что производная вычислялась взятием разностей давлений и времён, поскольку методом `scipy.optimize` не получилось приблизить функцию давления полиномом или экспонентой (чтобы взять производную в явном виде).

Опыт 2

Далее перейду ко второму опыту — рассмотрению скорости натекания в камеру, соединённую с насосом через сильфонный шланг. Для начала график зависимости давления от времени:

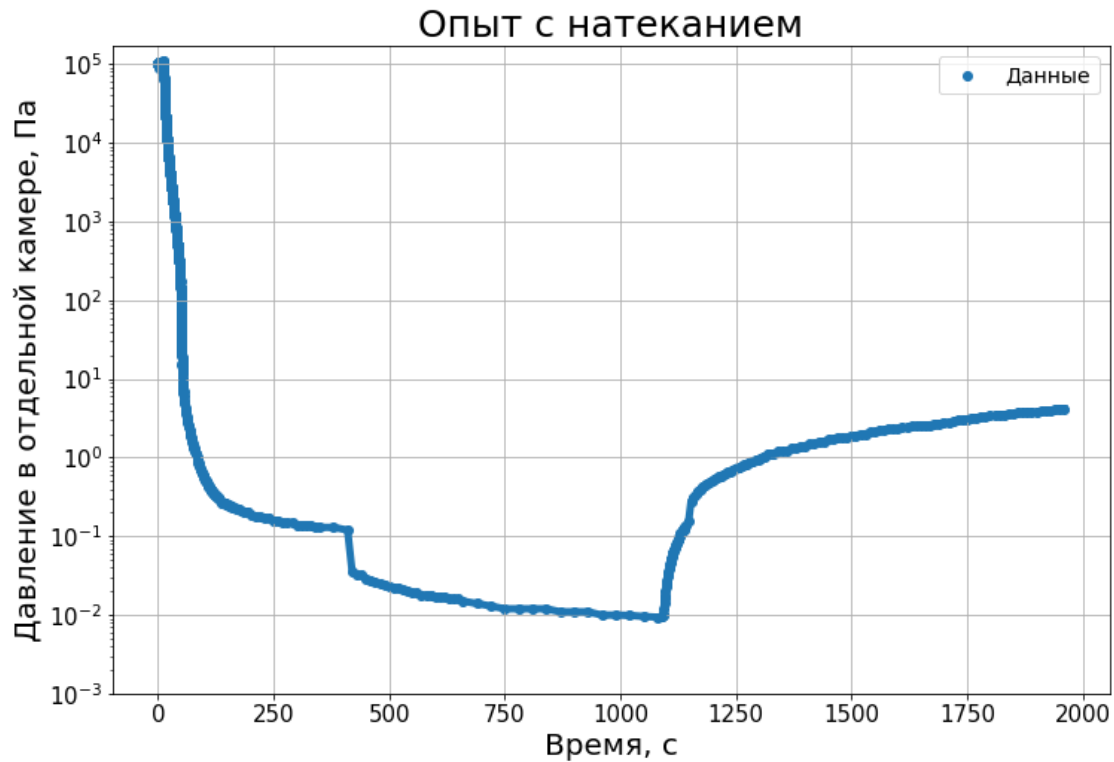
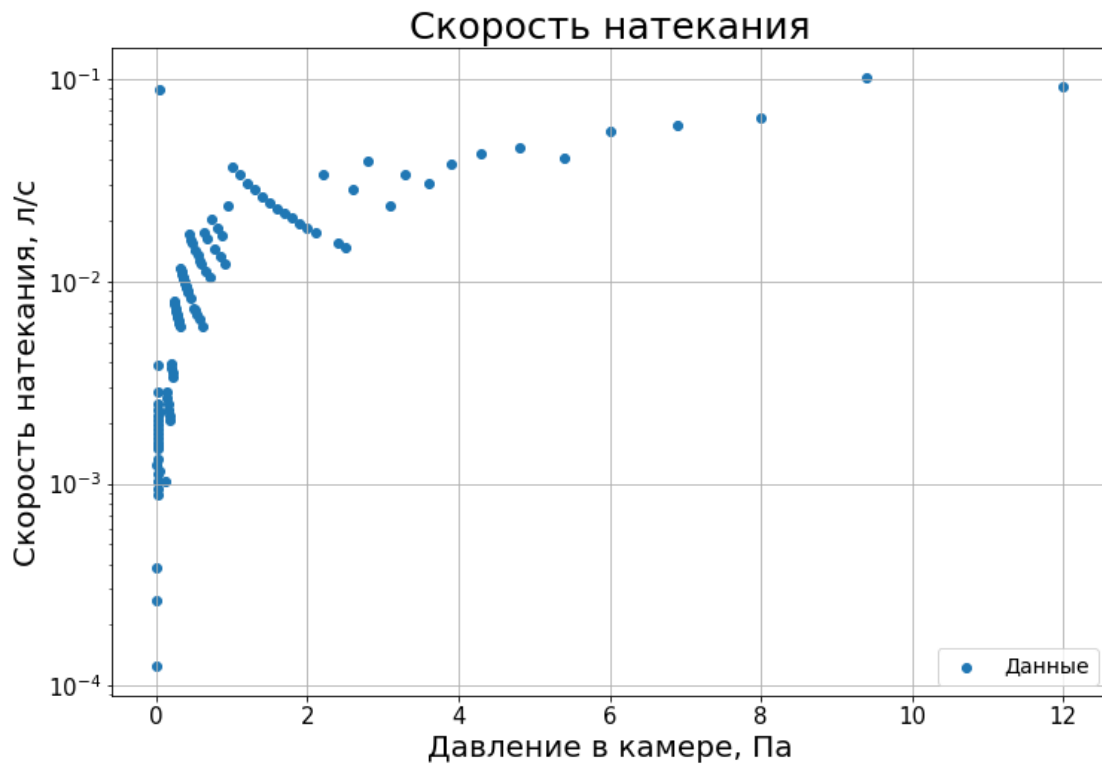


Иллюстрация 4: $p(t)$ во втором эксперименте.

Важное замечание — поскольку после закрытия вентиля (около 1100 секунды) натекание происходило медленно, было решено остановить эксперимент, и данные с Pfeiffer'а не использовались при вычислении скорости натекания. Также не было графика с МЕРАДАТ-ВИТ1, поэтому точек получилось немного:



Максимальное значение: 0.1 л/с, среднее — 0.016 л/с.

Опыт 3

Заключаящим опытом было вычислить пропускную способность капилляра исходя из паспортных данных насоса и разницы давлений. Сначала рассмотрим давления на концах капилляра:

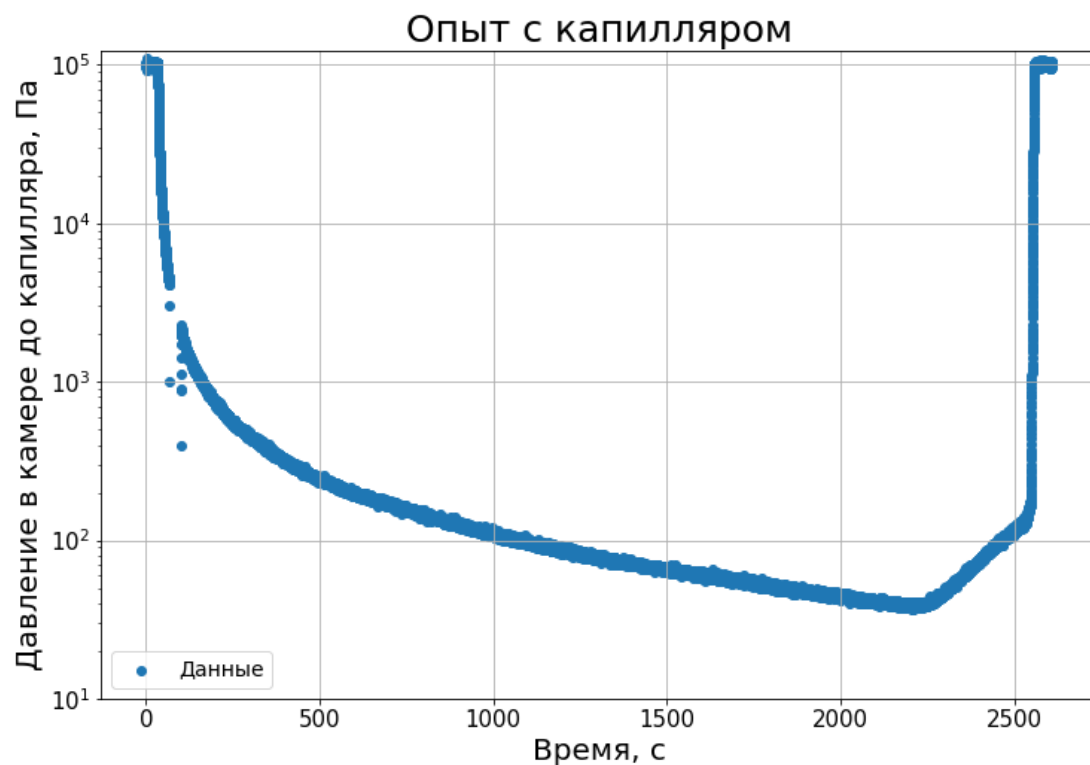


Иллюстрация 5: $p(t)$ на конце капилляра, соединённого с камерой без насоса

На графике можно заметить, что в определённый момент данные манометра Pfeiffer оказались очень неточными, поскольку, вероятно, что-то произошло с контактом. На другом конце:

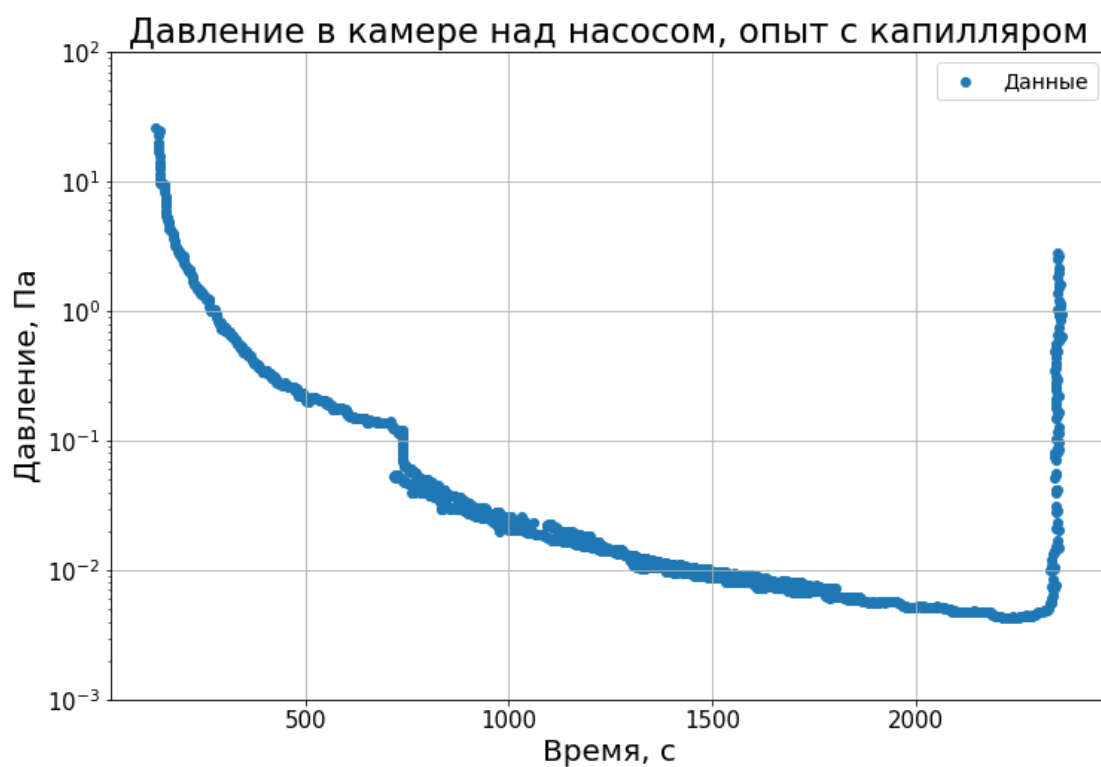


График сдвинут по оси t , так как в данной задаче был смысл рассматривать только малые давления в камере над насосом, а ПМИ и ПМТ имеют малый верхний предел считывания данных. Пропускная способность:



Иллюстрация 6: Пропускная способность капилляра в 3 опыте, полученная экспериментально.

Её можно сравнить с теорией для вязкого режима течения газа по формуле:

$$C = \pi r^4 \frac{(p_1 + p_2)}{16 \eta l},$$
 где l — длина капилляра, равна 3.1 ± 0.01 дм, η — вязкость газа, взята с, r — радиус капилляра, равный 0.057 ± 0.01 см.

Теория:

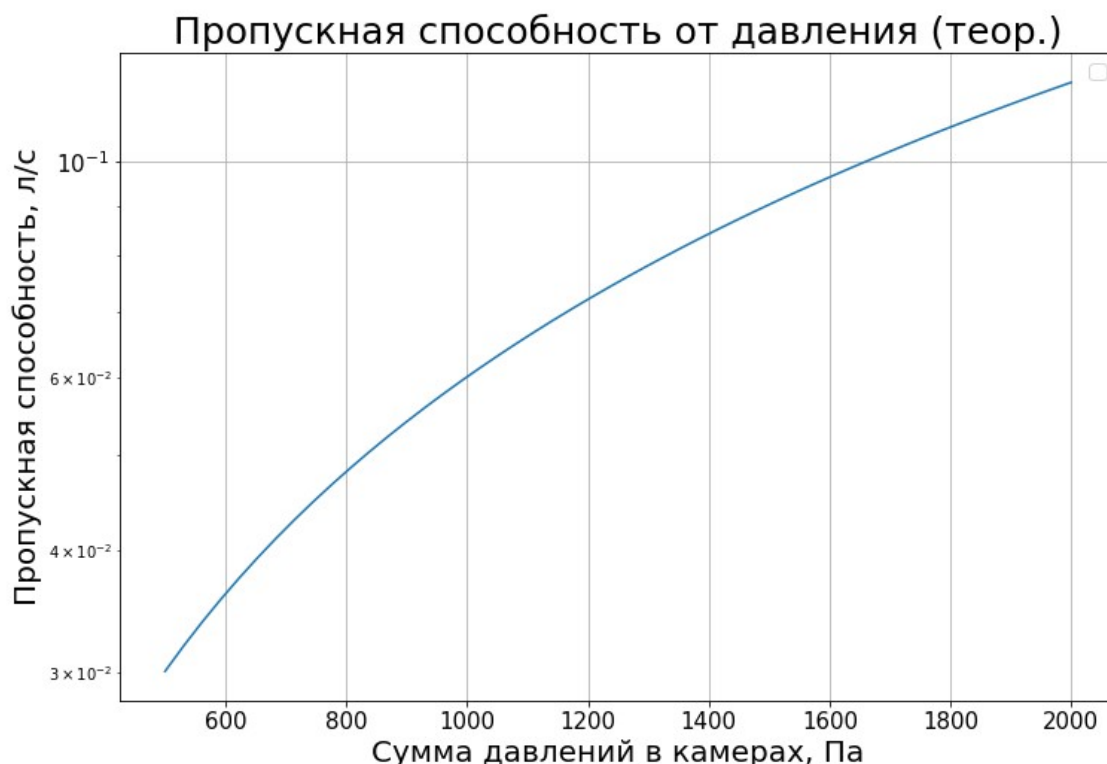


Иллюстрация 7: Теоретическое приближение для пропускной способности капилляра.

Объем во всех опытах был объёмом цилиндра (камеру можно считать цилиндром) + поправка из-за наличия соединений у камеры и, оцененный сверху, был равен $V = 0.37 \text{ л}$.

Погрешности

$$\Delta_p = \sqrt{50 \cdot \Delta_{ARD}^2 + 4 \cdot \Delta_{TRP}^2 + \Delta_{изм}^2} = 13.7\%$$

Вывод

Результаты получились несколько противоречивы. Параметры, в основном, не совпадают с паспортными для этой станции, а теоретическое приближение пропускной способности недостаточно хорошо описывает эксперимент. Тем не менее, каждый результат можно объяснить с физической и математической точки зрения.

Библиография

[1] — Методичка, вторая редакция

[2] - <https://apps.automeris.io/wpd/>