

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

Факультет физики

Лабораторная работа

«Основы вакуумной техники»

Работу выполнил студент 2 курса
Качаев Никита Эдуардович



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Москва
2022

Содержание

1. Цель работы	2
2. Оборудование	2
3. Теория	2
3.1. Классификация вакуума	2
3.2. Линии откачки	3
4. Описание установки	3
5. Предельное давление и скорость откачки	3
5.1. Ход работы	3
5.2. Обработка данных	4
6. Быстрота натекания	7
6.1. Ход работы	7
6.2. Обработка данных	8
7. Выводы	9

1. Цель работы

Перед началом выполнения работы были поставлены следующие цели:

- 1) Измерить предельное давление в системе и скорость откачки использованием различных датчиков вакуума.
- 2) Оценив откачиваемый объем и зная зависимость давления в камере от времени, можно оценить производительность насоса и построить кривую скорости откачки.
- 3) Определить скорость натекания в закрытом объеме.

2. Оборудование

- Вакуумная камера с фланцами ISO-K-100
- Заглушки ISO-K-100 к вакуумным камерам
- Вентили с фланцами ISO-KF-16
- Манометрические преобразователи ПМТ-2, ПМИ-2 с переходниками ISO-KF-25
- Цифровой пьезорезистивный датчик вакуума Thyascont
- Цифровой вакуумметр Мерадат-ВИТ
- Источник постоянного напряжения на 24 В,
- Откачной пост Pfeiffer Vacuum HiCube 80 Eco
- Комплект вакуумной арматуры
- Преобразователь интерфейса RS-485/USB

3. Теория

3.1. Классификация вакуума

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

3.2. Линии откачки

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

$$C = \frac{Q_{pv}}{\Delta p}, \quad (1)$$

где Q_{pv} – поток газа через линию в единицах pv , а Δp – разность давлений на ее концах. В вязком режиме для линии круглого сечения длиной l проводимость равна $C = \frac{\pi r^4 (p_1 + p_2)}{16 \eta l}$, где η – вязкость газа. При молекулярном режиме справедливо другое соотношение $C = \frac{305 r^4}{l} \sqrt{\frac{T}{m_0}}$

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

$$S = -\frac{dV}{dt} \quad (2)$$

Из предположения, что быстрота насоса постоянна, а процесс изотермический получим дифференциальное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами:

$$Sp = -\frac{d(pV)}{dt} \Rightarrow \frac{dp}{dt} = -\frac{pS}{V} \quad (3)$$

Откуда легко можно найти зависимость давления от времени:

$$p(t) = p_0 e^{-\frac{tS}{V}} \quad (4)$$

Если выразить из этой формулы быстроту насоса, то получим:

$$S = -\frac{V}{t} \ln \frac{p}{p_0} \quad (5)$$

Зная давления, находится скорость откачки:

$$v = \frac{dp}{dt} = p \frac{S}{V} = -\frac{p}{t} \ln \frac{p}{p_0} \quad (6)$$

4. Описание установки

В экспериментах использовался откачной пост, на который с помощью вакуумной арматуры присоединялось всё необходимое оборудование. Достаточно низкие давления (порядка 10^{-3} мбар), измеряемые с помощью манометрического преобразователя ПМИ-2 снимались на вакууметре, а давления порядка от 1 до 10^3 мбар измерялось на манометре Thyracont, который был подключен к компьютеру при помощи преобразователя интерфейса RS-485/USB.

5. Предельное давление и скорость откачки

5.1. Ход работы

Для того чтобы измерить необходимые параметры, мы подключили к насосу датчики давления, включили насос и ждали, пока насос не выйдет на предельное давление. После 80 минут эксперимента, его решено было прекратить, так как насос откачивал воздух весьма медленно, что свидетельствовало о достижении предельного (в разумных пределах) давления.

5.2. Обработка данных

Перед тем, как строить графики данные нужно правильно предобработать. Для начала построим графики boxplot для проверки данных на наличие выбросов.

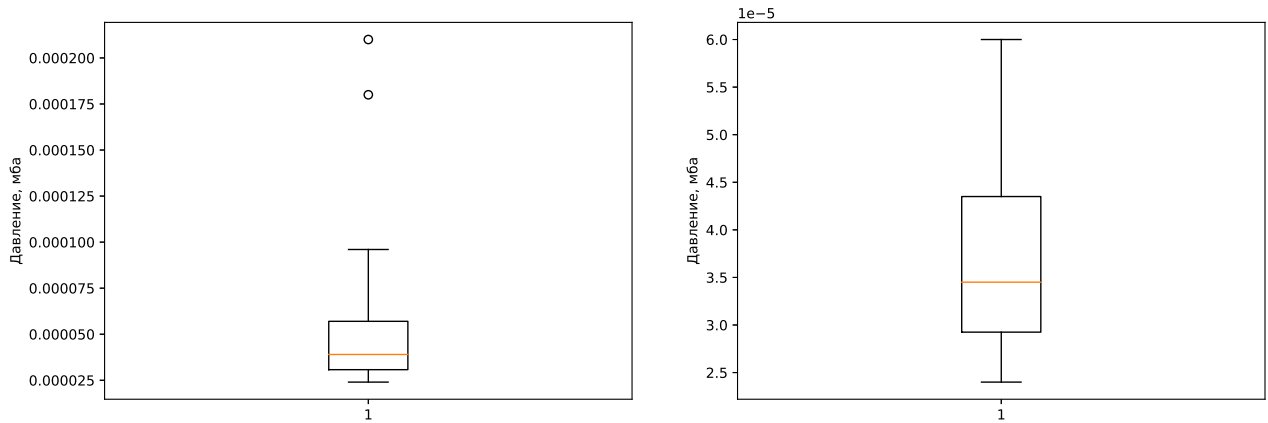


Рис. 1. Два графика boxplot для данных, снятых с датчика с ПМТ-2, до, и после предобработки

Как видно на правом графике, выбросы имеются, их мы просто убираем (см. левый график). Эти выбросы можно списать на человеческий фактор, так как данные с датчика ПМТ-2 записывались на камеру, и вручную вбивались в таблицу, что было большой ошибкой, но об этом дальше. Давайте посмотрим на зависимость давления от времени, наша теория предполагает, что должна получиться экспонента. Я решил аппроксимировать данные при помощи нелинейной регрессии, вот что получилось:

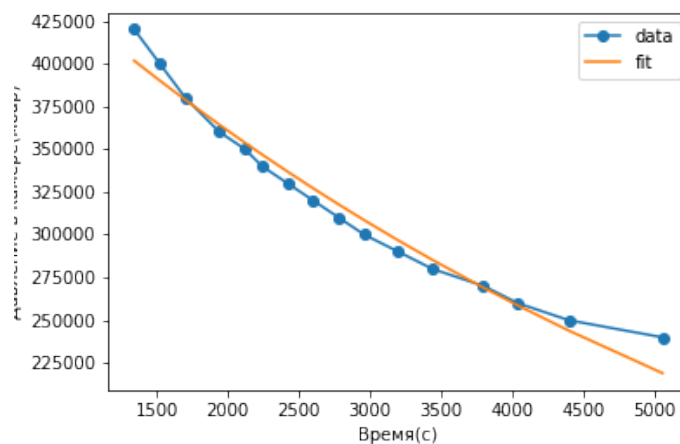


Рис. 2. Зависимость давления от времени откачки в камере (с ПМТ-2)

Давайте посмотрим на логарифмическую шкалу, и заодно попробуем приблизить график прямой.

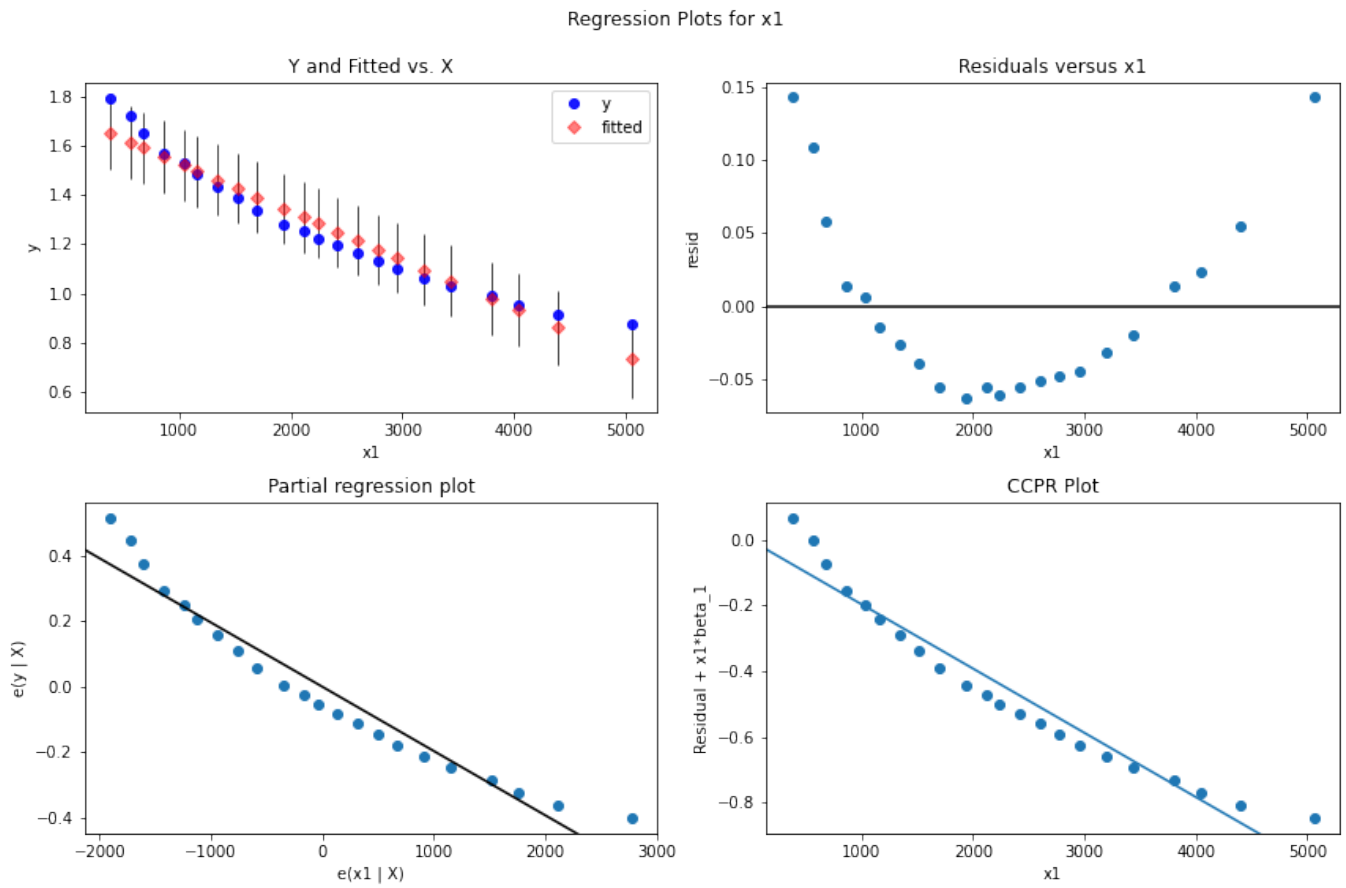


Рис. 3. Зависимость давления от времени откачки в камере (с ПМТ-2)

Левый нижний график - наши данные в логарифмической шкале, и их линейная аппроксимация, как видно, прямой здесь приблизить не получается, правый верхний - это остаточный график по сравнению с подогнанным. По оси X на этом графике показаны фактические значения точек переменной предиктора, а по оси Y показана невязка для этого значения.

Как можно видеть, остатки не распределены случайным образом вокруг нуля, это указывает на то, что условие гомоскедичности для нашего распределения не выполняется, иными словами, брать много выборок одинакового объема, и смотреть на их дисперсию, то это распределение не будет равномерным.

Здесь я могу предположить, что такая ошибка возникла из-за того, что данные снимались вручную, проблема может крыться в том, что точности измерения времени просто недостаточно для нашего эксперимента (время было измерено с точностью до минут), поэтому точки в некоторые моменты могли съехать относительно других.

В конечном счете, предельное давление этого насоса оказалось порядка $2.4 \cdot 10^{-3}$ Па.

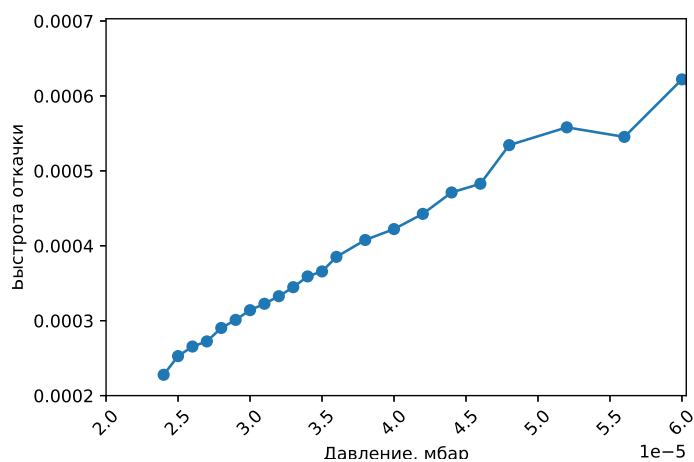


Рис. 4. Зависимость скорости откачки от давления в камере (ПМТ-2)

Быстрота насоса, как и ожидалось, тем меньше, чем меньше давление в камере. Далее, были построены графики для датчика Thyracont, с нелинейной регрессией.

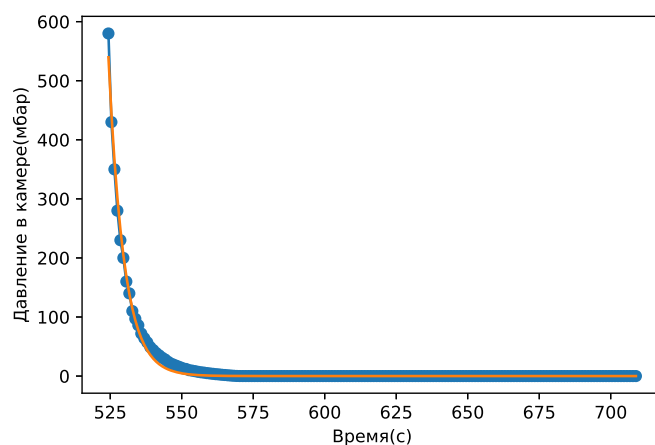


Рис. 5. Зависимость скорости откачки от времени в камере(Thyracont)

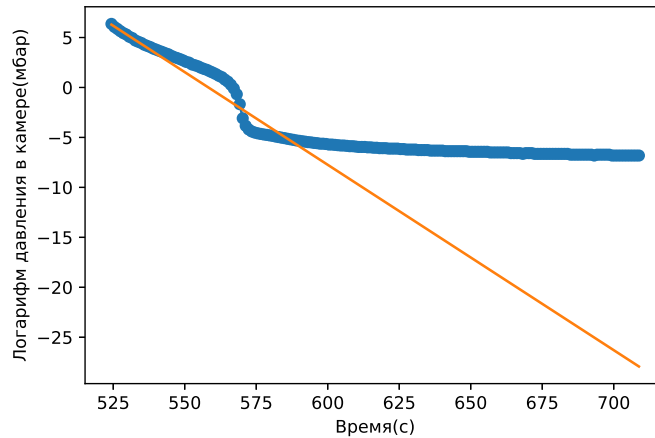


Рис. 6. Зависимость скорости откачки от времени в камере, логарифмический масштаб (Thyracont)

Как видно, из графика в логарифмическом масштабе нашу кривую можно аппроксимировать двумя прямыми в интервалах [525, 550] и [575, 700], такое поведение может говорить об изменении коэффициента в экспоненте в определенный момент времени. Так как объем камеры точно не менялся, то влиять на коэффициент могла только производительность насоса.

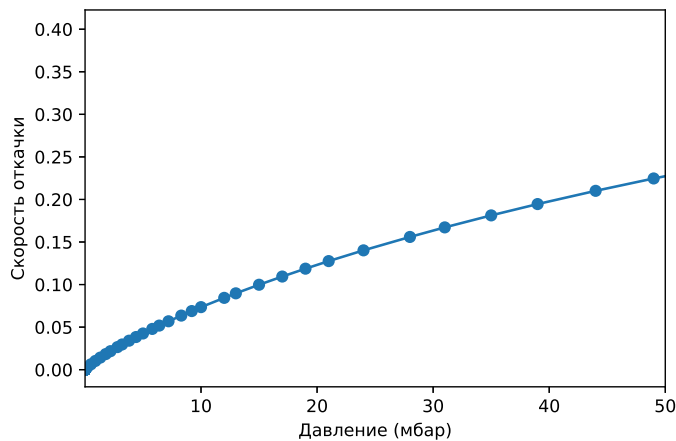


Рис. 7. Зависимость скорости откачки от давления в камере с датчика Thyracont

6. Быстрота натекания

6.1. Ход работы

К установке в данном эксперименте добавилась камера, соединенная с насосом через сильфонный шланг. В такой системе предлагалось измерить скорость натекания в камеру. Само натекание проходило достаточно быстро, поэтому мы решили закончить измерения через 2 минуты после эксперимента, что было ошибкой, так как на Рис. 4. видно, что быстрота натекания не успела установиться, и мы не сможем узнать, что было дальше.

6.2. Обработка данных

Были построены графики зависимости давления от времени и быстроты натекания от давления.

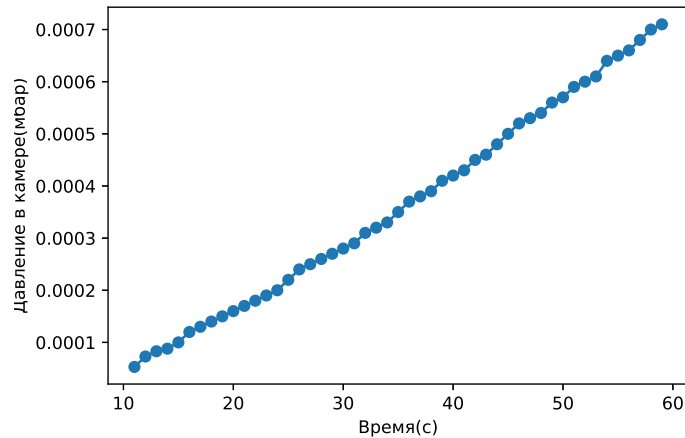


Рис. 8. Зависимость давления от времени натекания в камере (ПМТ-2)

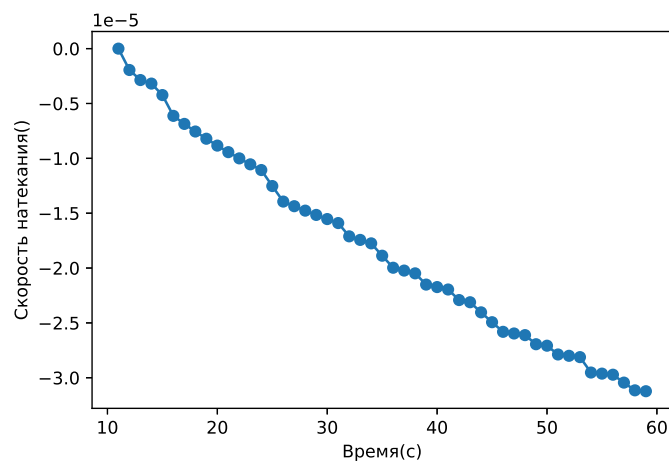


Рис. 9. Зависимость скорости натекания от времени в камере (ПМТ-2)

Зависимость давления от времени неплохо описывается прямой. На графике изображено давление сразу после выключения насоса. Начальное давление порядка 10^{-4} мбар

Далее была найдена скорость натекания, она тоже зависит и меняется с увеличением давления. Вначале идет экспоненциальный рост, но вскоре рост замедляется.

7. Выводы

- Снимать данные вручную - большая ошибка
- Нужно всегда следить за точностью измерений, иначе будет много проблем при обработке данных
- Полученные нами результаты довольно сильно сходятся с данными для откачного поста
- Все соединения были выполнены не очень добротно, так как добиться низкого значения вакуума не получилось и натекаание воздуха происходило весьма быстро