**Работа 2.3.1Б**

**Современные методы измерения и получения вакуума**

Черниенко Владислав Антонович

Группа Б01-110

**Цель работы:** 1)определение откачиваемого объёма  
и измерение скорости откачки форвакуумным насосом; 2) измерение скорости откачки турбомолекулярным насосом и определение предельного вакуума.

**В работе используются:** вакуумный пост Edwards EXPT (TY1211601), компьютер, программное обеспечение TIC PC Monitor.

**Теоретические сведения**

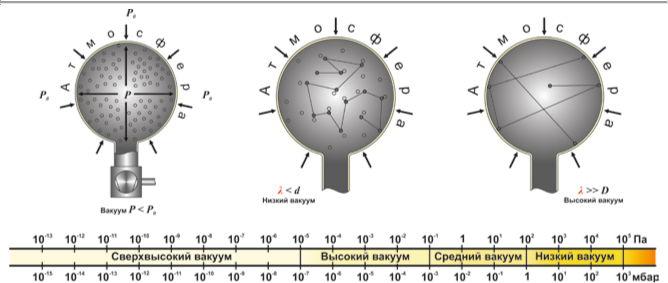
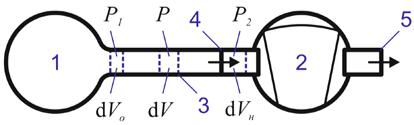
В физике *вакуумом* называют состояние газа, при котором характерная длина свободного побега молекул в газе сравнима по порядку величины с характерным линейным размером сосуда, в котором газ находится. Для воздуха при *нормальных условиях ,* откуда видно, что воздух в жилых помещениях не находится в состоянии вакуума, но, например, внутри пористых материалов, таких как древесина, уже может находиться. В технике вакуумом называют состояние газа при котором его давление меньше атмосферного (). Различают следующие типы вакуума: *низкий*, когда средняя длина свободного пробега молекул газа значительно меньше характерного линейного размера рассматриваемого объёма, т.е. ; *средний,* когда ; *высокий* (или глубокий), когда (рис. 1). Иногда выделяют ещё *сверхвысокий* вакуум, при котором не происходит заметного изменения свойств поверхности, первоначально свободной от адсорбированного газа, за время, существенное для проведения эксперимента. Газ в состоянии высокого вакуума называется *ультраразрежённым.*

Рис. 1. Понятие о вакууме

Основы процесса откачки и связанные с ним понятия рассмотрим на примере простейшей вакуумной системы (рис. 2).

*Предельное остаточное давление (предельный вакуум)* – наименьшее давление газа, которое формируется в процессе откачки в рассматриваемом сечении вакуумпровода (рассматриваемой точке вакуумной системы). Обычно выделяют предельное давление в камере или на входе в насос.

*Наибольшее выпускное давление*  – максимально допустимое давление газа на входе насоса.



1–откачиваемый объём, 2­–вакуумный насос, 3–вакуумпровод (трубка),

4–впускной патрубок (вход) насоса, 5–выпускной патрубок (выход) насоса

Рис. 2. Простейшая вакуумная система

*Быстрота откачивающего действия (скорость откачки) вакуумной системы –* объём газа, проходящий через рассматриваемое сечение вакуумпровода в единицу времени при текущем давлении в данном сечении:

Следовательно, быстродействие насоса определяется как:

(2.1)

а эффективная скорость откачки камеры :

(2.2)

Падение давления вдоль вакуумпровода определяется его *пропускной способностью (проводимостью)* :

Где – *поток газа* через вакуумпровод с соответсвующими давлениями на концах.

Величина , обратная проводимости, называется *импедансом* вакуумпровода:

*.*

В общем случае указанные величины как и сами давления зависят от времени. Но в конце процесса откачки устанавливается квазистационарный режим, при котором поток газа становится практически постоянным и равным количеству поступающего в систему газа в единицу времени вследствие наличия *течей*, т.е. нарушения герметичности (в основном в местах механического соединения отдельных узлов вакуумной системы). Для стационарного режима можно записать условие непрерывности потока откачиваемого газа:

(2.4)

Из уравнений (2.1)-(2.4) нетрудно получить т.н. *основное уравнение вакуумной техники,* связывающее основные параметры вакуумной системы:

На пропускную способность вакуумпровода существенно влияет режим течения газа, который характеризуется *числом Кнудсена,* равным отношению длины свободного пробега молекул в газе к характерному линейному размеру течения:

Проводимость длинного трубопровода в гидродинамическом режиме определяется вязкостными характеристиками газа и может быть получена из формулы Пуазейля:

В молекулярном режиме проводимость определяется взаимодействием молекул газа со стенками и может быть получена из формулы Кнудсена:

Для промежуточных условий проводимость определяется путём интерполяции зависимостей, полученных в вязкостном и молекулярном режимах.

В случае последовательного соединения разных вакуумпроводов, что обычно бывает в реальных установках, их импедансы суммируются, а суммарная проводимость равна:

Положим, что за промежуток времени давление в откачиваемом объёме снижается на (рис. 2). Тогда за промежуток времени количество газа, поступающего в трубку равно , а эта же убыль газа в объёме равна , следовательно:

(2.9)

Перепишем (2.9) в виде:

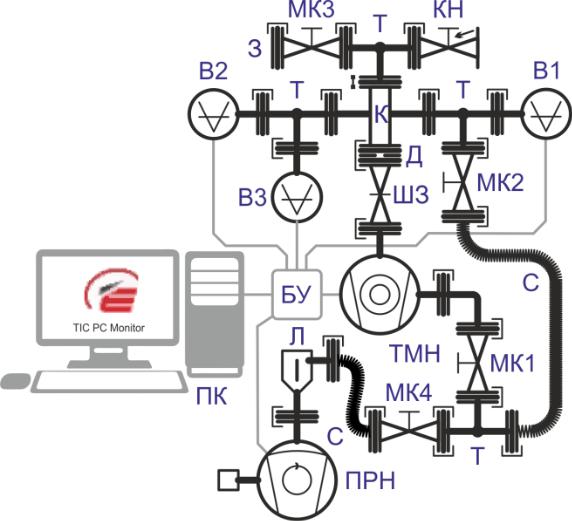
С учётом уравнения (2.5) для изменения давления со временем получим:

В случае , решение уравнения (2.9) существенно упрощается и зависимость давления от времени откачки:

*Постоянная времени откачки* является мерой эффективности откачной системы.

**Экспериментальная установка**

БУ –блок управления

ПРН –пластинчато-роторный насос

ТМН –турбомолекулярный насос

К –вакуумная камера

ШЗ –шиберный затвор

МК1-4 –мембранные краны

В1 –терморезисторный вакуумметр

В2 –магнетронный вакуумметр

В3 –термоэлектронный вакуумметр

КН –кран-натекатель

Л –маслоуловитель

З –заглушка

Д –диафрагмы

С –сильфоны

Т –тройники

ПК –компьютер

Рис. 3. Схема экспериментального стенда

Экспериментальный стенд выполнен на основе компактного высоковакуумного откачного поста Edwards серии EXPT с пластинчато-роторным и турбомолекулярным насосами, вакууметров Edwards и вакуумных компонентов. Управление основными функциями откачного поста, контроль и запись параметров установки осуществляется блоком управления (БУ) через цифровой интерфейс RS-232 с помощью специального программного обеспечения TIC PC Monitor. Схема экспериментального стенда и его внешний вид представлены на рис. 3-4.

Вакуумный пост Edwards EXPT (TY1211601) выполнен на базе пластинчато-роторного форвакуумного насоса Е2М1.5 (ПРН) и турбомолекулярного насоса EXT70H (ТМН). Откачка вакуумной камеры (К) может происходить как двумя насосами (ТМН и ДН) через шиберный затвор (ШЗ) и мембранные краны 1 и 4 (МК1, МК4), так и только форвакуумным насосом (ПРН) по схеме «байпас» (англ. bypass — обходной путь), выполненной на основе вакуумных компонентов: сильфонов (С), мембранных кранов 2 и 4 (МК2, МК4), тройников (Т), переходников.

Для контроля и измерения давления в вакуумной камере используются цифровые вакууметры APG100-XM (В1) типа Пирани (терморезисторный), AIM-X (В2) инверсно-магнетронный и AIGX-S (В3) термоэлектронный (с накалённым катодом).

Контролированный напуск воздушной атмосферы в камеру осуществляется через кран-натекатель LV10K (КН) с регулируемым потоком. Дополнительный выход с краном 3 (МК3) закрыт заглушкой (З) и служит для присоединения дополнительного объёма в случае необходимости.

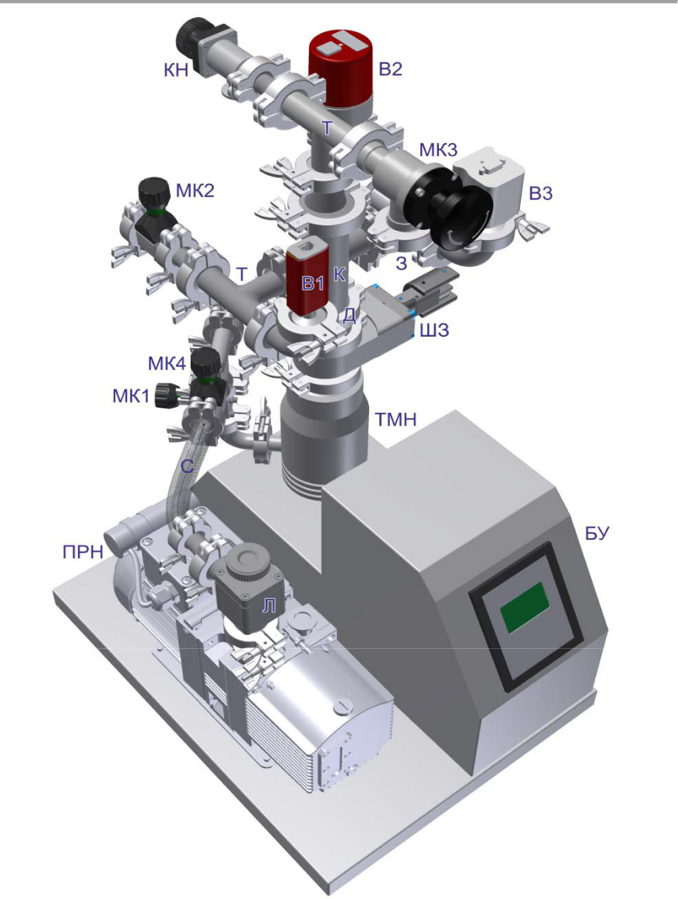
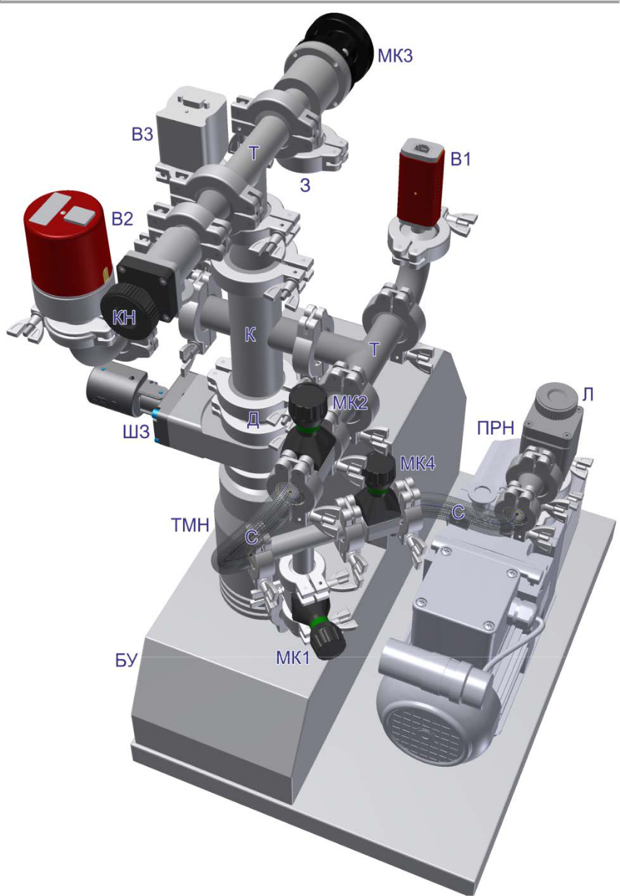


Рис. 4. Внешний вид экспериментального стенда

**Ход работы**

**Подготовка к работе и подключение системы управления**

1. Для начала выровняем давление во всех частях установки: последовательно откроем краны МК1, МК2, МК3, МК4 и шибер ШЗ.
2. Впустим атмосферный воздух в установку через кран-натекатель КН.
3. Подготовим систему к форвакуумной откачке: закроем КН, МК3, шибер ШЗ, а краны МК1, МК2 и МК4 оставим открытыми.
4. Запустим и настроим программу управления TIC PC Monitor: установим связь с блоком управления БУ, насосами и вакуумметрами; выберем данные для записи в файл; включим запись выбранных данных в файл; подготовим отдельный файл для фиксации ключевых параметров.

**Определение откачиваемого объёма и измерение скорости откачки форвакуумным насосом**

1. Откачаем установку форвакуумным насосом ПРН: включим ПРН кнопкой [Start Pump]; отметим время запуска в отдельном файле; откачаем установку до предельного давления, которое можно определить по динамике показаний вакуумметров; зафиксируем время откачки и предельное давление в системе.
2. Присоединим к установке сильфон с воздухом при атмосферном давлении.
3. Выровняем давления в сильфоне С и вакуумной камере К экспериментального стенда: закроем кран МК2; откроем кран МК3; зафиксируем установившиеся показания вакуумметра В1.
4. Выровняем давление вакуумной камеры К и форвакуумной магистрали установки: закроем краны МК1 и МК4; откроем кран МК2; зафиксируем установившиеся показания вакуумметра В1.
5. Выровняем давление во всей установке, включая объём турбомолекулярного насоса ТМН: откроем кран МК1; зафиксируем установившиеся показания вакуумметра В1.
6. Напустим в установку воздух до атмосферного давления: выключим насос ПРН и откроем кран МК4; повернём ручку тонкой регулировки КН до упора против часовой стрелки.

**Измерение скорости откачки турбомолекулярным насосом и определение предельного вакуума**

1. Отсоединим сильфон от установки.
2. Откачаем установку форвакуумным насосом ПРН.
3. Откачаем объём турбомолекулярным насосом ТМН: откроем шибер ШЗ, закроем кран МК2; включим ТМН кнопкой [Start Pump]; отметим время начала работы насоса ТМН; откачаем установку до предельного давления, которое можно определить по динамике показаний вакуумметров В2 и В3; зафиксируем предельное давление в высоковакуумной части установки и время откачки установки насосом ТМН.
4. Проведём обезгаживание накаленной спирали включившегося термоэлектронного вакуумметра В3 для устранения искажения его показаний.
5. Определим уровень течей и скорость откачки системы: закроем шибер ШЗ, получим таким образом зависимость показаний вакуумметров В2 и В3 от времени; когда давление превышает 10-3 мбар, снова откроем шибер. Получим зависимость показаний вакуумметров В2 и В3 от времени после открытия шибера; снова зафиксируем предельное давление.
6. Измерения по пп. 5 повторим 3 раза, каждый раз фиксируя время закрытия и открытия шибера ШЗ.

**Отключение установки**

1. После завершения всех действий на установке вновь откачиваем её до предельного вакуума.
2. Закроем последовательно краны МК3, МК2, МК1, ШЗ, МК4 и отключим откачку.
3. Остановим запись данных и закроем программу TIC PC Monitor.
4. Загрузим файл с данными на флеш-накопитель, выключим компьютер и питание экспериментального стенда.

**Обработка экспериментальных данных**

1. Загрузим данные из файла.
2. Зная объём запертого в сильфоне воздуха () определим, пользуясь законом Бойля-Мариотта, полный объём установки, высоковакуумной части (камера К), форвакуумной магистрали и самого насоса ТМН:

Закон Бойля-Мариотта: .

Зная давления воздуха в сильфоне отдельно и в сильфоне вместе с камерой К, посчитаем объём камеры К:

Так же найдём объём форвакуумной магистрали:

И объём насоса ТМН:

Посчитаем погрешности измерений:

Погрешность вакуумметра, взятая из паспорта прибора, равна 15%.

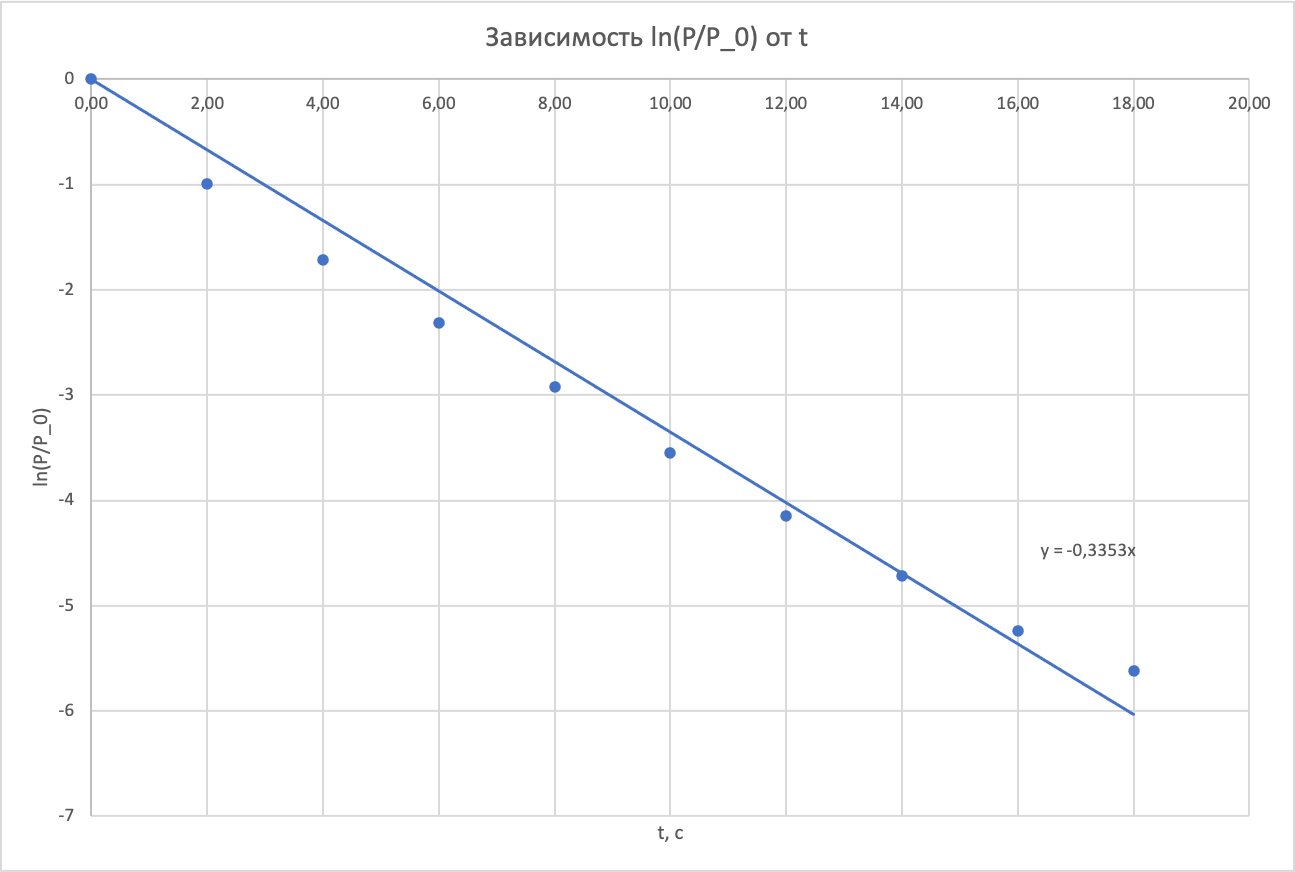
Тогда:

где , отсюда следует:

где отсюда следует:

1. Оценим эффективную скорость откачки системы форвакуумным насосом в области, где она почти постоянна:

Построим график зависимости от по МНК во время откачки насосом ДН в диапазоне давлений .



Посчитаем погрешности:

тогда:

тогда:

Оценим величину :

тогда:

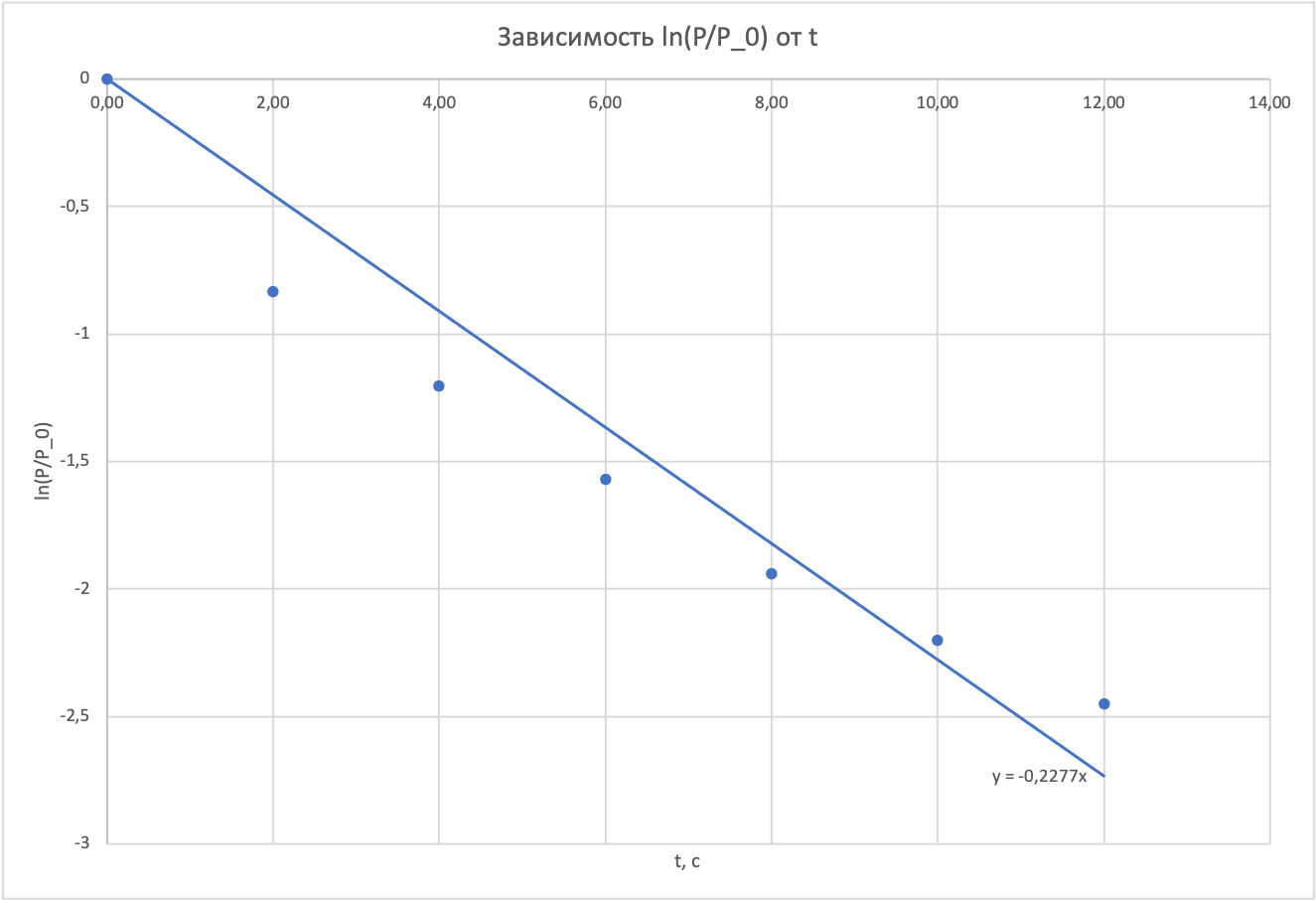
Так как *,* то: *,*

тогда:

Сравним полученное значение с табличным и убедимся, что оно лежит в нашем диапазоне:

1. Оценим эффективную скорость откачки системы турбомолекулярным насосом в области, где она почти постоянна:

Построим график зависимости от по МНК во время откачки насосом ТМН в диапазоне давлений .



Посчитаем погрешности:

тогда:

*.*

Тогда:

Зная значения и :

1. Определим уровень течей по ухудшению вакуума после перекрытия насосом ТМН:

**Вывод**

В данной работе мы научились работать с установкой Edwards EXPT (TY1211601): определили откачиваемый объём, получили значения для скоростей откачки форвакуумного и турбомолекулярного насосов, рассчитали натекание. Из-за очень существенной погрешности вакуумметров в установке значения были получены с достаточно большими погрешностями.