

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА (ПТИ)

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИКИ ТЕЧЕЙСКАНИЯ

Цель работы: ознакомление с понятием герметичности вакуумных систем, изучение методов течеискания, техники поиска течей в вакуумных системах и освоение методики работы с гелиевым течеискателем на базе статического масс-спектрометра.

#### ВВЕДЕНИЕ

Понятие герметичности возникает тогда, когда ведется откачка системы до заданного давления. Так, достижение предельного давления в вакуумных системах в значительной степени зависит от их герметичности. Герметичность вакуумной системы – это свойство всех ее элементов и их соединений обеспечить настолько малое проникновение газа (натекание), чтобы им можно было пренебречь в рабочих условиях. Очевидно, что при этом должно выполняться следующее неравенство:

$$P_{пред} = \frac{Q_{Г.В} + Q_T}{S_{эфф}(P_{пред})} \leq P_3 \quad (1)$$

где  $P_{пред}$  - предельное остаточное давление в системе;  $S_{эфф}(P_{пред})$  - эффективная скорость откачки системы при предельном давлении;  $Q_{Г.В}$  - суммарный поток газовой выделенности;  $Q_T$  - суммарный поток течей;  $P_3$  - заданное давление в системе.

В реальных случаях поток газовой выделенности не намного меньше суммарного потока через течи. Вообще говоря, требования по величинам потоков течей и газовой выделенности должны быть едиными, но удовлетворять им можно в определенной последовательности. Наличие течей и величина потока натекания определяют пригодность системы для дальнейшего использования, и поэтому они должны контролироваться непосредственно при сборке системы или после каждой ее разгерметизации. В то же время уменьшение потока газовой выделенности можно проводить и позднее путем вакуумной температурной тренировки системы.

Абсолютно герметичных вакуумных систем не бывает: таким образом, задача состоит в том, чтобы добиться минимального суммарного потока натекания. Для динамических вакуумных систем предельно допустимый поток натекания определяется из уравнения (1). Природа течей может быть самой разной: трещины и поры в стенках камер, неплотности во фланцевых соединениях и в сварных швах и т.п. В сверхвысоковакуумных системах поиск течей затруднен вследствие малых величин потоков натекания. Существует эмпирическое правило: если течи отсутствуют при высоком вакууме, они отсутствуют и при сверхвысоком. Видимо, малые течи могут самозакрываться из-за нарастания в них сорбированных молекулярных слоев.

#### ТЕХНИКА ТЕЧЕЙСКАНИЯ

##### Масс-спектрометрический метод поиска течей.

В настоящее время одной из целей, ради которых проводится измерение парциального состава газа, является измерение герметичности и нахождение мест течи вакуумных систем.

Любой из масс-спектрометров может быть использован при течеиспании в том случае, если натекающий через течи газ (или смесь газов) заменить на пробный. В этом случае можно настроить масс-спектрометр на регистрацию только пробного газа, массовое число которого известно. Однако возможности такого способа течеиспания ограничены. В первую очередь ограничения связаны с необходимостью получения в системе вакуума, достаточного для нормальной работы масс-спектрометра ( $< 10^{-2}$  Па), что не всегда возможно при начальной сборке системы. Кроме того, этот способ не позволяет осуществ-

влять проверку форвакуумной части системы. Требования высокой разрешающей способности и высокой чувствительности для всех масс-спектрометров противоречат друг другу. Для измерения малых потоков натекания необходимо иметь высокую чувствительность масс-спектрометра и, следовательно, пониженную разрешающую способность.

Масс-спектрометрический метод поиска течей успешно применяется в случае подключения к вакуумным системам специальных приборов - течеискателей, в систему регистрации пробного газа которых включены специальные магнитные масс-спектрометры с собственной автономной системой откачки.

#### Гелиевые течеискатели.

Основным пробным газом, применяемым при работе с масс-спектрометрическими течеискателями, является гелий, малая молекулярная масса которого и низкая сорбционная способность обеспечивают хорошее проникновение через малые течи, а инертность делает безопасным в применении. Гелий в весьма малых количествах содержится в атмосферном воздухе и продуктах газовой выделенной, так что фоновый сигнал небольшой. Массовое число иона гелия равно 4 а.е.м. и относительно сильно отличается от ближайших к нему соседних массовых чисел (пиков) в спектре (водород  $H_3^+$ , углерод  $C_{12}^{++}$ ). Это позволяет снизить разрешающую способность масс-спектрометра до  $\rho=1$ .

Магнитный масс-спектрометр для регистрации ионов гелия с  $\rho = 1$  прост, малогабаритен и может быть сделан с очень большой чувствительностью (до  $7,5 \cdot 10^{-6}$  А/Па).

Все серийные отечественные масс-спектрометрические течеискатели настроены на индикацию гелия и носят название гелиевых.

#### Методика течеискания.

Важнейшей характеристикой любого течеискателя является его чувствительность, или способность различать минимальные количества пробного вещества (или газа). Однако при измерении потоков натекания в реальных системах, когда оно проводится в условиях газовой выделенной, наличия многих течей и динамической откачки, величина минимально определяемого потока течи  $Q_{T \text{ мин}}$  не определяется только параметрами течеискателя, а зависит от методики проведения испытаний. Таким образом, следует говорить о чувствительности течеискания.

Рассмотрим некую вакуумную систему, к которой подключен течеискатель. Система имеет газовыделение - поток  $Q_{ГВ}$ , течь - поток натекания  $Q_T$ , и минимальную течь - поток  $Q_{T \text{ мин}}$ . Для эффективного течеискания необходимо обнаруживать малые течи на фоне больших.

При реальном поиске и обдуве "подозрительного" места на внешней стороне вакуумной камеры струей гелия в какой-то момент времени поток воздуха  $Q_T$  заменяется на поток гелия, попадающий в течеискатель. Однако гелий не может полностью вытеснить в течи воздух, следовательно, в течеискатель попадает воздушно-гелиевая смесь. И по существу течеискатель должен измерять изменение концентрации гелия. Способность течеискателя реагировать на изменение концентрации гелия в системе определяется газоаналитической чувствительностью

$$\beta = \frac{1}{C_K} \cdot \left( \frac{Q_{T \text{ мин}}}{Q_{ГВ} + Q_T} \right) = \frac{1}{C_K} \cdot \frac{Q_{T \text{ мин}}}{P_{\text{пред}} S_{\text{эфф}}(P_{\text{пред}})} \quad (2)$$

где  $C_K$  - поправочный коэффициент, отражающий неполное замещение воздуха в течи гелием.

Газоаналитическая чувствительность определяется стабильностью течеискателя, его избирательной способностью (чувствительностью) по гелию и конкретными условиями в данной вакуумной системе.

Современные течеискатели способны показывать наличие гелия в атмосферном воздухе; значит, значение  $\beta$  может достигать величины  $10^{-7}$ . Исходя из уравнения (2), можно записать, что минимальный поток натекания, измеряемый течеискателем в рассмотренном случае, составляет:

$$Q_{T..мин} = C_K \cdot \beta \cdot p_{пред} \cdot S_{эфф} \quad (3)$$

Помимо этого на чувствительность течеискания существенным образом влияют динамические процессы установления парциального давления в системе, то есть временные характеристики течеискания. Пусть в момент времени  $t = 0$  в систему объемом  $V$ , не содержащую гелия, начинает поступать через течь поток гелия  $Q_{He}$ . Рост парциального давления гелия в системе описывается уравнениями:

$$V \frac{dP_{He}}{dt} = Q_{He} - P_{He} S_{эфф.He}$$

$$P_{He}(t) = \frac{Q_{He}}{S_{эфф.He}} \left( 1 - e^{-t/\tau} \right) \quad (4)$$

где  $S_{эфф.He}$  - эффективная быстрота откачки системы по гелию;  $\tau = V/S_{эфф.He}$  - постоянная времени течеискания.

Отсюда видно, что предельное равновесное давления гелия в системе, равно  $Q_{He}/S_{эфф.He}$ , тем больше, чем меньше  $S_{эфф.He}$ , т.е для увеличения чувствительности выгодно снижать быстроту откачки гелия. Однако при этом снизиться быстрота нарастания давления в объеме, так как возрастает  $\tau$ , следовательно, увеличивается инерционность системы и время измерения. Видно, что факторы скорости измерения и чувствительности противоречат друг другу. В каждом конкретном случае необходимо определять приоритет этих факторов и принимать меры по его обеспечению.

Уравнения (4) записаны для случая, когда гелий подается на течь неограниченно долго, например, при калибровке. На практике при обдуве "подозрительных" мест это условие обеспечить нельзя (без применения метода "колпака", и тогда, считая, что в момент  $t_1$  прекращается подача гелия ( $Q_{He}=0$ ), можно записать зависимость давления гелия в системе от времени:

$$P_{He}(t) = \frac{Q_{He}}{S_{эфф.He}} \left( 1 - e^{-t_1/\tau} \right) \cdot e^{-t/\tau}, \quad (5)$$

где  $t_1$  - время обдувания течи гелием.

Обычно на практике время обдува выбирается из условия  $\tau \leq t_1 \leq 3\tau$ , что обеспечивает достижение в объеме от 63% до 95% максимально возможного значения давления гелия. Временные характеристики течеискания аналогичны переходным процессам в электротехнике.

Учет динамического процесса установления или изменения давления гелия в системе позволяет записать выражение (3) в виде

$$Q_{T..мин} = c_\tau c_K \beta p_{пред} S_{эфф} \quad (6)$$

где  $c_\tau$  - уменьшение концентрации гелия в системе вследствие реальных временных соотношений. Уравнение (6) определяет чувствительность течеискания в случае реального поиска течей в вакуумных системах.

## ТЕЧЕЙСКАТЕЛЬ ГЕЛИЕВЫЙ ПТИ-10

Масс-спектрометрический течеискатель типа ПТИ представляет собой передвижную вакуумную установку, состоящую из следующих основных частей: анализаторная часть (масс-спектрометрическая камера с магнитом), вакуумная система и электронные блоки измерения и питания.

В описании приняты следующие обозначения составных частей ПТИ-10:

Блок измерения ионного тока - БИИТ (включая усилитель постоянного тока)

Блок питания камеры - БПК (блок питания)

Блок измерения давления - БИД (система измерения давления)

Блок питания вакуумных клапанов - БПВК (блок питания)

Панель управления - ПУ (система управления ручн./авт.)

### Назначение

Гелиевый масс-спектрометрический течеискатель ПТИ-10 предназначен для испытаний на герметичность различных систем и объектов, допускающих откачку внутренней полости, а также заполненных гелием или смесью, содержащей гелий.

Течеискатель ПТИ-10 является универсальным прибором, рассчитанным на все виды контроля герметичности с применением гелия в качестве пробного газа.

Погрешность определения величины течи данным прибором не нормируется.

### Технические данные

Минимальный регистрируемый поток гелия без дросселирования - не более  $1 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$ , с дросселированием –  $6.6 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$  (дросселирование – снижение быстрой откачки камеры анализатора).

В течеискателе имеется стрелочный индикатор с регулировкой громкости и порога срабатывания, а также световой индикатор течи.

Полное время прогрева - 2 часа.

После одного часа откачки механическим и паромасляным насосами с применением жидкого азота для охлаждения ловушки в высоковакуумном объеме течеискателя устанавливается давление  $10^{-3} \text{ Па}$  (5 делений средней шкалы стрелочного прибора БИД). При повышении давления до величины  $10^{-2} \text{ Па}$  (85-100 делений - БИД) и при внезапном прорыве атмосферного воздуха в высоковакуумный объем течеискателя срабатывает вакуумная блокировка: отключается накал катода ионного источника масс-спектрометрической камеры.

При отключении сетевого напряжения автоматически перекрывается линия предварительного разряжения паромасляного насоса и напускается атмосферный воздух в механический насос.

### Принцип действия течеискателя

Течеискатель представляет собой высокочувствительный магнитный масс-спектрометр, настроенный на регистрацию гелия, с автономной системой откачки.

Для проведения испытаний на герметичность вакуумным методом **ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОТКАЧАННЫЙ ИСПЫТУЕМЫЙ** объем соединяется с масс-спектрометрической камерой течеискателя и обдувается гелием (или помещается в чехол, заполненный гелием).

Течь индицируется по увеличению сигнала масс-спектрометра, вызываемому повышением парциального давления гелия в масс-спектрометрической камере.

Основным элементом течеискателя является масс-спектрометрическая камера, содержащая ионный источник и приемник ионов. Камера помещается между полюсами постоянного магнита.

Накаленный вольфрамовый катод ионного источника эмиттирует электроны, которые ускоряются в электрическом поле между катодом и коробкой ионизатора.

Магнитное поле, действующее вдоль направления движения электронов, фокусирует электроны в узкий пучок, поступающий в коробку ионизатора через отверстие, расположенное под катодом (см. рис.1).

В камере ионизатора электроны сталкиваются с молекулами газа, поступающего в течеискатель из проверяемого объема, и вызывают их ионизацию.

Образовавшиеся ионы вытягиваются из камеры ионизации ускоряющим электрическим полем, действующим в направлении, перпендикулярном электронному пучку. Поток ионов через выходную диафрагму источника поступает в анализатор.

В анализаторе (анализатором здесь называется область масс-спектрометрической камеры, в которой ионы движутся от источника к коллектору ионов) происходит пространственное разделение ионов по массам под действием постоянного магнитного поля, направленного перпендикулярно направлению движения ионов и заставляющего их двигаться по круговым траекториям, радиусы которых зависят от массы ионов в соответствии с формулой:

$$R = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{H} \sqrt{MU} \quad (7)$$

где:  $H$  - напряженность магнитного поля, А/м

$R$  - радиус траектории движения иона, м;

$U$  - ускоряющее напряжение, приложенное между камерой ионизатора 2 (рис.1) и диафрагмой 3, В;

$M$  – массовое число иона, равное отношению его массы к числу зарядов ( $m/q$ ) а.е.м

При постоянных значениях  $H$  и  $U$  радиус траектории зависит от массового числа иона. Таким образом, в магнитном поле происходит разделение ионного пучка на ряд отдельных лучей.

Анализатор масс-спектрометрической камеры течеискателя -180-ти градусного типа. Траектории ионов в нем от ионного источника к приемнику ионов имеют вид полуокружностей. Анализатор такого типа обладает фокусирующим действием; ионы определенной массы, выходящие из источника расходящимся пучком, вновь собираются в узкий сходящийся пучок в плоскости входной диафрагмы коллектора.

Радиус траектории ионов, попадающих в отверстие входной диафрагмы приемника -  $3,5 \cdot 10^{-2}$  м при величине  $H = 0,17$  А/м.

Изменением ускоряющего ионы поля ( $E_{\text{уск}}$ ) осуществляется настройка камеры на пик гелия.

Чтобы на коллектор попадали только ионы гелия, обладающие полным запасом энергии, и отсеивались и задерживались рассеянные ионы, потерявшие часть своей энергии в результате соударения со стенками камеры или с нейтральными молекулами газа, и случайно попавшие на рабочую траекторию, перед коллектором помещают т.н. супрессорную систему. Между двумя сетками супрессорной системы создается тормозящее ионы электрическое поле ( $E_{\text{супр}}$ ). Величина напряжения, подаваемого на супрессор, может меняться в пределах от 40 до 100 В.

Коллектор ионов соединен со входом электрометрического каскада усилителя постоянного тока. Для обеспечения высокой чувствительности регистрации предусмотрена электронная компенсация тоновых сигналов, дающая возможность регистрировать сигналы, вызываемые течами, на чувствительных шкалах выходного прибора блока измерения ионного тока. Выбор рабочей шкалы осуществляется в соответствии с уровнем флуктуаций фонового сигнала течеискателя и необходимой чувствительности ионного сигнала регистрируются выходным прибором БИИТ, звуковым и световым индикаторами.

Для контроля чувствительности течеискателя служит калиброванная гелиевая течь "ГЕЛИТ-1".

Рабочее давление в масс-спектрометрической камере обеспечивается откачной системой.

Контроль давления в линии предварительного разрежения и в высоковакуумной объеме течеискателя осуществляется с помощью манометрического преобразователя ПМТ-4М и магнитного электроразрядного преобразователя.

Управление вакуумной системой течеискателя при его включении и работе производится с помощью клапанов.

### Система откачки

Схема вакуумной системы гелиевого течеискателя приведена на рис.2. В течеискателе ПТИ-10 снижен уровень фонового сигнала. Для этого применены металлические уплотнения вместо резиновых и использован диффузионный насос (ND) с повышенной плотностью струи, что исключает противодиффузию гелия и увеличивает быстроту его откачки. Минимальная измеряемая масс-спектрометром  $S$  величина парциального давления гелия составляет  $10^{-10}$  Па. Предварительная откачка камеры масс-спектрометра  $C$  (до 1 Па) осуществляется механическим насосом NI через линию байпасной (обходной) откачки, отсекаемую клапаном с ручным приводом ВП1. Для создания в системе высокого ва-

куума используется паромасляный трехступенчатый насос с воздушным охлаждением типа Н-0.025-2, обладающий высокой стабильностью быстроты откачки.

Насос Н-0,025-2 работает в диапазоне давлений от  $6,6 \cdot 10^{-4}$  до 3 Па. Быстрота откачки по воздуху (с ловушкой) не менее 10л/с

Время разогрева насоса - 30 мин. Охлаждение насоса принудительное - центробежным вентилятором.

Для защиты масс-спектрометрической камеры и испытываемых объемов от замасливания над паромасляным насосом установлена кольцевая конусообразная ловушка, охлаждаемая жидким азотом. Емкость ловушек - 0,7 л. Периодичность заливки азота в ловушку - 14-16 часов.

Вакуумная система течейскаателей содержит 7 сильфонных клапанов из них 5 ручных и 2 с электромагнитным приводом.

Клапан VE2 - "НАПУСКНОЙ" - электромагнитный предназначен для напуска воздуха в механический насос при выключении течейскаателя, открывается автоматически с задержкой во времени относительно времени закрытия клапана VE1 "ОТКАЧКА ПАРОМАСЛЯНОГО НАСОСА". Это необходимо для предотвращения попадания атмосферного воздуха в горячий паромасляный насос.

Клапан VP1 - "БАЙПАСНАЯ ОТКАЧКА КАМЕРЫ" - ручной, соединяющий масс-спектрометрическую камеру С при байпасной откачке механическим насосом.

Клапан V2 - "ОТКАЧКА КАМЕРЫ" - ручной, соединяющий масс-спектрометрическую камеру с откачной системой течейскаателя. Наличие этого клапана обеспечивает возможность изоляции камеры во время размораживания ловушки и вскрытия паромасляного насоса.

Клапан VF1 "ВХОДНОЙ" - ручной, дросселирующий, предназначен для регулирования потока газа, поступающего из испытываемого объема (или шупа) в масс-спектрометрическую камеру.

Клапан VP3 "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ" - ручной, открывается при проведении калибровки течейскаателя по гелиевой течи "ГЕЛИТ".

Клапан VF2 "ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ" - ручной, дросселирующий, предназначен для регулировки быстроты откачки масс-спектрометрической камеры паромасляным насосом и, следовательно, для изменения чувствительности течейскаателя.

Клапан VE1 - "ОТКАЧКА ПАРОМАСЛЯНОГО НАСОСА", автоматически закрывается в аварийном режиме, изолируя высоковакуумный насос от фортракта. Открывается клапан кнопкой "ПАРОМАСЛЯНЫЙ НАСОС"-ОТКАЧКА", расположенной на панели управления.

Гелиевая течь "ГЕЛИТ-1" представляет собой устройство, дающее непрерывный неизменный по величине поток гелия. Действие течи основано на диффузии гелия сквозь мембрану, изготовленную из плавленого кварца.

Гелиевая течь обеспечивает возможность оценки чувствительности испытаний. В режиме калибровки течейскаателя на входном фланце, устанавливается заглушка. Входной клапан при этом полностью открывается.

Для индикации давления в высоковакуумном объеме и форвакуумной линии вакуумная система течейскаателя содержит два манометрических преобразователя.

Преобразователь манометрический тепловой термпарный (РТ) ПМТ-4М предназначен для индикации давления в форвакуумной линии в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-1}$  до 10 Па ( $1 \cdot 10^{-3}$  -  $1 \cdot 10^{-1}$  мм.рт.ст.).

Магнитный электроразрядный манометрический преобразователь (РМ) предназначен для индикации давления в высоковакуумном объеме в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-1}$  Па ( $1 \cdot 10^{-6}$  -  $1 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст.) и является датчиком системы вакуумной блокировки. При срабатывании системы блокировки зажигается сигнал "ПЛОХОЙ ВАКУУМ" и отключается накал катода ионного источника масс-спектрометрической камеры. Для повторного включения накала катода необходимо нажать кнопку "ДЕБЛОКИРОВКА", расположенную на панели управления.

Градуировочная характеристика магнитного электроразрядного манометрического преобразователя приведена на рис.3.

#### Калибровка течеискателя

Если минимальное регистрируемое давление гелия известно, то минимальный регистрируемый поток натекания в первую очередь определяется эффективной быстротой откачки гелия. Чувствительность течеискания зависит от того, какая доля молекул натекающего гелия попадет в камеру анализатора.

Калиброванная гелиевая течь "ГЕЛИТ", обозначенная на схеме буквой А, используется для калибровки течеискателя в соответствии с выражением:

$$Q_{\text{He.мин}} = \frac{Q_T}{\alpha_T - \alpha_\phi} \cdot \Delta\alpha_\phi \quad (8)$$

где  $Q_{\text{He.мин}}$  минимальный регистрируемый поток гелия;  $Q_T$  – поток "ГЕЛИТ-1",  $\alpha_T$  - установившийся сигнал при измерении потока калиброванной течи;  $\alpha_\phi$  - фоновый сигнал;  $\Delta\alpha_\phi$  - флуктуации фонового сигнала.

При дросселировании откачки помимо снижения эффективной быстроты откачки гелия происходит снижение уровня флуктуаций фонового сигнала, что приводит к дополнительному повышению чувствительности течеискателя за счет уменьшения минимального регистрируемого давления гелия на уровне фона (удвоенная амплитуда сигнала по сравнению с фоном:

$$P_{\text{He.мин}} = \frac{2\Delta\alpha_\phi}{K_{\text{He}}} \quad (9)$$

где  $P_{\text{He.мин}}$  - минимальное приращение давления гелия;  $K_{\text{He}}$  - чувствительность течеискателя по гелию.

#### Устройство течеискателя

Структурная схема течеискателя представлена на рис.4. Течеискатель объединяет вакуумную и электронную системы в единый комплекс.

Блок измерения ионного тока (БИИТ)- состоит из электрометрического каскада усилителя постоянного тока, стрелочного, акустического и светового индикаторов, схемы питания и схемы компенсации фоновых сигналов.

Шкала стрелочного прибора программирована в единицах напряжения и имеет пределы измерения в соответствии с положением переключателя "ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ" 0.1; 0.3; 1; 3; 10 и 30 В (коэффициент усиления по току УПТ = 5000 без цепи обратной связи).

Для компенсации фоновых сигналов течеискателя в цепи обратной связи усилителя вводится в обратной фазе по сравнению с сигналом регулируемое напряжение. Для обеспечения более плавной регулировки напряжения компенсации весь диапазон разбит на 2 поддиапазона: 0-6В и 0-30В), которые устанавливаются переключателем "КОМПЕНСАЦИЯ ГРУБО". Плавная регулировка напряжения компенсации осуществляется потенциометром "КОМПЕНСАЦИЯ ПЛАВНО".

Блок питания камеры (БПК) - содержит источник питания катода ионного источника со схемами стабилизации тока эмиссии и ограничения тока накала, а также источники ускоряющего, супрессорного и ионизирующего напряжений.

Для снижения чувствительности течеискателя при индикации грубых течей предусмотрена возможность ступенчатого изменения тока эмиссии : 5; 0,5 и 0,1 мА. Установка нужной величины тока эмиссии и выключение накала катода ионного источника осуществляется переключателем "ТОК ЭМИССИИ".

Блок измерения давлений (БИД) - содержит схемы питания, измерения и блокировки манометрических преобразователей. Стрелочный прибор БИД кнопкой на панели управления коммутируется из цепи измерения термо-ЭДС в цепь нагревателя для контроля тока нагревателя (нижняя шкала прибора).

Тумблер "ФОРВАКУУМ - ВЫСОКИЙ ВАКУУМ" на панели управления коммутирует измерительный прибор из схемы измерения преобразователя ПМТ-4М (форвакуум) в схему измерения разрядного тока магниторазрядного манометрического преобразователя. Отсчет давления производится по средней шкале прибора с последующим переводом в единицы давления по градуировочной характеристике (см.рис.3).

Течеискатель ПТИ-10 конструктивно оформлен в виде передвижного прибора. Это обстоятельство дает в аббревиатуру названия (ПТИ) первую букву - П.

В нижней части каркаса, установленного на обрешеченные поворотные колеса, размещен механический насос.

Блок измерения ионного тока источника имеет законченную конструкцию, размещенную на поворотном устройстве и допускающую удобный для оператора поворот в пределах 240°. Для поворота БИИТ следует оттянуть на себя фиксатор, расположенный на горловине поворотного устройства под БИИТ.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Подготовка течеискателя к работе

Исходное положение органов управления:

- Все клапаны закрыты (ручки повернуты вправо до отказа), клапан под откидной крышкой также закрыт);
- выключатель сети - в положении "ВЫКЛ";
- тумблер "НАГРЕВАТЕЛЬ" - в нижнем положении;  
БИИТ
- переключатель "ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ" - положение 30В;
- переключатель "КОМПЕНСАЦИЯ" - в положение "ВЫКЛ";  
БПК
- переключатель "ТОК ЭМИССИИ" в- положении "**КАТОД ВЫКЛЮЧЕН**";
- переключатель "ИЗМЕРЕНИЕ" в положение "ТОК ЭМИССИ";  
БИД
- тумблер "ФОРВАКУУМ - ВЫСОКИЙ ВАКУУМ" - в положение "ФОРВАКУУМ";
- переключатель "ПМТ - 4М" в положение "ВНУТР".

### Рабочее задание

#### 1. Форвакуумная откачка, построение временной диаграммы откачки

1.1. Включить форвакуумный насос ПТИ - 10, для чего переключатель сети на панели ПТИ – 10 перевести в положение "ВКЛ". При этом должны начать работать механический насос и вентилятор паромасляного насоса, также должны загораться индикаторы включения сетевого напряжения на лицевых панелях блока измерения ионного тока, блока питания камеры и блока измерения давления.

По указанию преподавателя проверить установку тока нагревателя ПМТ-4М, для чего на блоке БИД нажать кнопку "ТОК НАГРЕВАТЕЛЯ ПМТ-4М " (*записать показания*).

Откачать форвакуумную линию до давления 5 Па [(3-5)\*0,01 мм рт.ст.] по верхней шкале прибора БИД. Время откачки порядка 15 мин.

1.2. Провести форвакуумную откачку объема паромасляного насоса. На лицевой панели ПТИ-10 нажать и отпустить кнопку клапана VE1 ("ОТКАЧКА ПАРОМАСЛЯНОГО НАСОСА"), при этом должен загореться индикатор "ПАРОМАСЛЯНЫЙ НАСОС - ОТКАЧКА". Откачать объем паромасляного насоса до давления 5 Па. Время откачки порядка 10 мин.

1.3. Последовательно откачать до давления 5 Па участки вакуумной системы течеискателя, открывая клапаны VF2 ("ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ" (справа на боковой стенке), VP2 ("ОТКАЧКА КАМЕРЫ"), VF1 ("ВХОДНОЙ КЛАПАН"), и VP3 ("ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ") на лицевой панели ПТИ-10. Время откачки около 15 мин.



1.4. Закрыть клапаны "ОТКАЧКА КАМЕРЫ" и "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ". Изолировать паромасляный насос, закрыв клапан "ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ".

## 2. Высоковакуумная откачка, построение временной диаграммы откачки

2.1. Включить подогрев масла в диффузионном насосе. Тумблер "ПАРОМАСЛЯНЫЙ НАСОС - НАГРЕВАТЕЛЬ" на лицевой панели ПТИ - 10 установить в верхнее положение, при этом должен загореться индикатор "ПАРОМАСЛЯНЫЙ НАСОС".

**Через 30 минут прогрева** насоса начать высоковакуумную откачку объема, открыв клапан "ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ" (справа на боковой стенке). Включить высоковакуумный вакуумметр, установив тумблер БИД "ФОРВАКУУМ - ВЫСОКИЙ ВАКУУМ" в положение "ВЫСОКИЙ ВАКУУМ". Откачать объем до давления около 0,003 Па, что соответствует 5-20 давлениям средней шкалы измерительного прибора БИД.

Откачать гелиевую течь до давления 0,003 Па, открыв клапан "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ" (менее 5 мин.) и затем закрыть клапан.

2.2. По указанию преподавателя залить в ловушку жидкий азот ( 0,7 л) для вымораживания паров масла и предотвращения их попадания в камеру масс-спектрометра (заливку проводить только с лаборантом!).

Откачать камеру до давления не менее 0,003 Па, открыв клапан "ОТКАЧКА КАМЕРЫ".

## 3. Подготовка масс-спектрометра к работе, установка рабочих режимов

3.1. Отрегулировать нуль усилителя постоянного тока БИИТ на всех шкалах потенциометром "УСТАНОВКА НУЛЯ". Отключить блокировку накала катода, нажав на панели ПТИ-10 кнопку "ДЕБЛОКИРОВКА". Перед включением накала катода ионного источника необходимо проверить, открыт ли на лицевой панели ПТИ-10 клапан "ОТКАЧКА КАМЕРЫ" и откачана ли камера масс-спектрометра до высокого вакуума (давление 0.003 Па).

**(Включение накала при закрытом клапане приводит к перегоранию катода!)**

3.2. Подать на катод ионизатора напряжение. Переключатель ВПК "ИЗМЕРЕНИЕ" установить в положение "ТОК ЭМИССИИ" и переключатель БПК "ТОК ЭМИССИИ" в положение "0,1мА". Через 10-15 секунд стрелка прибора БПК должна отклониться на середину шкалы. По мере обезгаживания камеры и снижения давления ток может быть увеличен.

3.3. Проверить установку потенциометром БПК величины ускоряющего и супрессорного напряжений, которые контролируются выходным прибором БПК в соответствующих положениях переключателя БПК "ИЗМЕРЕНИЕ".

Величина ускоряющего напряжения равна 400 В. Величина супрессорного напряжения равна 70 В, но в зависимости от величины остаточного фона, может регулироваться в пределах от 40 до 100 В и более.

## 4. Калибровка масс-спектрометра

Настройка прибора проводится по указанию преподавателя.

4.1. Провести напуск газа в вакуумную систему и настроиться на "пик гелия"; на лицевой панели ПТИ - 10 открыть клапан "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ" (на 1-2 секунды, не более!) и после установления сигнала, изменяя напряжение ионизатора потенциометром БПК "УСКОРЯЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ", получить максимальное отклонение стрелки прибора БИИТ, соответствующее максимальному току ионов гелия на коллекторе ионов.

4.2. Проверить, являются ли ионы, попадающие на коллектор при максимальном токе, ионами гелия. Для этого открыть и перекрыть поступление гелия в камеру масс-спектрометра клапаном "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ". Если сигнал не уменьшится, значит это не "пик гелия", открыть еще раз клапан и повторить настройку на "пик гелия".

4.3. Подобрать напряжение на супрессорной сетке так, чтобы ток, образуемый попаданием на коллектор ионов больших масс, был минимален, для чего потенциометром

"СУПРЕССОРНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ" настроиться на минимальное значение токового сигнала. После этого проверить настройку на "пик гелия".

5. Определение минимального потока гелия, регистрируемого течеискателем, и цены деления выходного прибора

5.1. При закрытом клапане "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ" (остальные клапаны открыты) откачать течеискатель, удалив из него гелий. Время откачки составляет 5 мин.

5.2. Определить амплитуду флуктуаций фонового сигнала по шкале "0,3 В" (или "0,1 В") выходного прибора БИИТ:

$$\Delta\alpha_{\phi} = \alpha_{\phi.макс.} - \alpha_{\phi.мин} \quad (10)$$

где  $\Delta\alpha_{\phi}$  - амплитуда флуктуаций, мВ,

$\alpha_{\phi.макс. мин}$  – максимальное и минимальное значения фонового сигнала, мВ.

5.3. Переключатель БИИТ "ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ" установить в положение "30В". Напустить гелий в камеру масс-спектрометра, открыв клапан "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ" и, выбрав удобную для измерений шкалу прибора БИИТ, определить амплитуду сигнала от гелиевой течи -  $\alpha_T$ , мВ.

Перекрыть поток гелия в камеру, закрыв клапан "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ" и определить амплитуду фонового сигнала  $\alpha_{\phi}$ , мВ.

5.4. Определить поток гелия  $Q_{мин}$ , регистрируемый течеискателем, по формуле (8).

Цена деления выходного прибора ВИИТ соответствует:

$$A_{дел} = \left[ \frac{Q_T}{\alpha_T - \alpha_{\phi}} \right] \cdot 0.01, \frac{м^3 \cdot Па}{с \cdot В} \quad (11)$$

5.5. По заданию преподавателя, для определения минимального потока гелия, регистрируемого течеискателем, прикрыть клапан "ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ", повторить действия по п.п.5.3.и 5.4. (дросселирование выполнять в диапазоне давлений в вакуумной камере, в котором не срабатывает блокировка вакуумметра РМ, индицируемая зажиганием табло "ПЛОХОЙ ВАКУУМ").

Выключение течеискателя

Для выключения течеискателя необходимо:

- Закрывать клапаны "ГЕЛИЕВАЯ ТЕЧЬ" и "ВХОДНОЙ", переключатель БИИТ "ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ" установить в положение "30 В";

-Выключить накал катода ионизатора, установив переключатель БПК "ТОК ЭМИССИИ" в положение "КАТОД ВЫКЛЮЧЕН"; закрыть клапан "ОТКАЧКА КАМЕРЫ";

-Установить тумблер БИД в положение "ФОРВАКУУМ";

-Закрывать клапан "ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ" и отключить подогрев масла, выключив нагреватель паромасляного насоса на лицевой панели ПТИ - 10 (тумблер "ПАРОМАСЛЯНЫЙ НАСОС - НАГРЕВАТЕЛЬ" установить в нижнее положение);

- **Через 30 минут**, после остывания насоса, выключить напряжение питающей сети, установив переключатель сети на лицевой панели ПТИ - 10 в положение "ВЫКЛ".

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) Функциональную схему течеискателя ПТИ-10.
- 2) Временную диаграмму подготовки течеискателя к работе.
- 3) Время откачки (форвакуумной и высоковакуумной).
- 4) Величину предельного давления.
- 5) Экспериментально измеренную цену деления измерительного прибора.
- 6) Рассчитанную чувствительность ПТИ-10 (в режимах с дросселированием и без него).
- 7) Рассчитанное значение быстроты откачки по гелию, при условии, что  $S_k = 0,5$ .

### Список рекомендуемой литературы

1. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: Учеб. Для вузов. М.: Высш.шк., 1990.
2. Шестак В.П. Метрологические аспекты физики вакуума: Учеб. пособие. М.: МИФИ, 1983.
3. Вакуумная техника: Справочник /Е.С.Фролов, В.Е.Минайчев и др.: Под общ. ред. Е.С.Фролова, В.Е.Минайчева. М.: Машиностроение, 1992, С.437-454.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ

- В чем заключается свойство герметичности вакуумной системы ?
- В чем принцип масс-спектрометрического метода течеискания ?
- Какой газ используется в качестве пробного и почему?
- Что такое чувствительность течеискания ?
- Какие условия и режимы определяет постоянная времени течеискания ?
- Каковы устройство и принцип работы анализатора ?
- В чем назначение супрессорной системы ?
- Какими особенностями обладает вакуумная система течеискателя ?
- Каков принцип действия калиброванной течи ГЕЛИТ ?
- Что регулируется клапаном ДРОССЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЧКИ ?
- Для чего нужна калибровка течеискателя ?



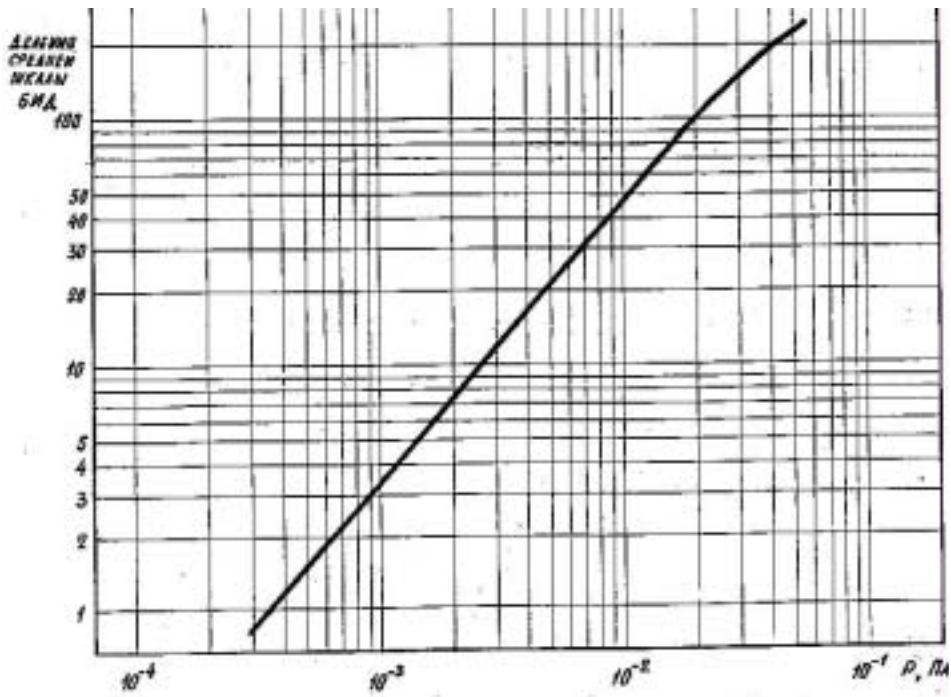


Рис.3. Градуировочная характеристика магнитоизрядного манометра.

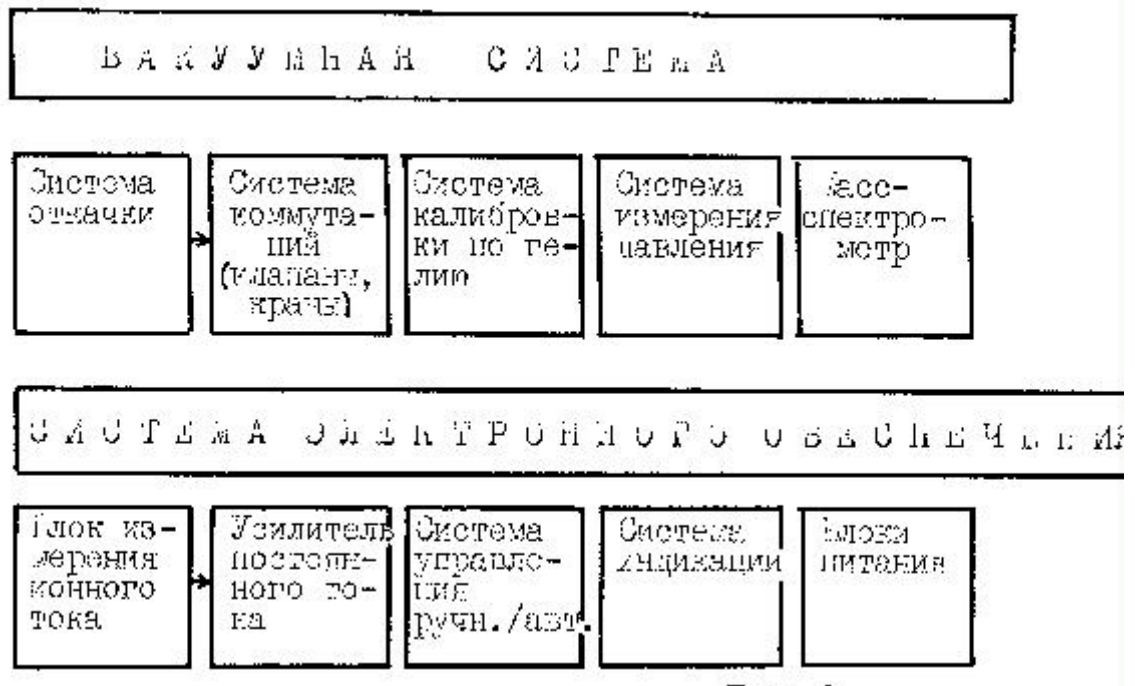


Рис.4. Структурная схема течеискателя ПТИ - 10.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ:

Лабораторная работа  
Изучение техники течеискания

1. Откачка вакуумной системы течеискателя:

предварительная

Время													
РТ, Па													
Элемент системы													

высоковакуумная

Время													
РТ, Па													
РМ, дел													
Па													
Элемент системы													

2. Режимы масс-спектрометрической камеры:

Ускоряющее напряжение -  
Супрессорное напряжение -  
Ток эмиссии -

3. Регистрация потока гелия:

$\alpha_{ф. макс}$													
$\alpha_{ф. мин}$													
$\alpha_T$													
$\alpha_{ф}$													

Выполнили: \_\_\_\_\_  
студенты \_\_\_\_\_  
группы \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Проверил:  
преподаватель