

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

Технология материалов и изделий электронной техники

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направлений «Фотоника и оптоэлектроника» и
«Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

2012

Орликов, Леонид Николаевич.

Методические указания к лабораторной работе для студентов направлений «Фотоника и оптоэлектроника» и «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 22 с.

В данной работе на основании данных по расходу газа, давлениям, длине свободного пробега молекул исследуется герметичность вакуумных коммуникаций. В общем случае задача сводится к генератору задачи, решаемой относительно требуемых параметров. Такие задачи без применения ЭВМ решать не представляется возможным. Кроме того, богатый математический аппарат вакуумной техники позволяет поддерживать системность в общении с компьютером, независимо от стартового уровня знаний в области.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоэлектроника» по курсу «Основы технологии оптических материалов и изделий» и по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства») по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники»

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ___ » _____ 2012 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направлений «Фотоника и оптоэлектроника» и
«Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик

д-р техн. наук, проф.каф.ЭП
_____ Л.Н.Орликов
_____ 2012 г

Содержание

1	Введение.....	5
2	Теоретическая часть.....	5
	2.1. Общие положения.....	5
	2.2 Манометрический метод течеискания.....	6
	2.3 Масс-спектрометрический метод течеискания	9
3	Экспериментальная часть.....	12
	3.1. Задание на работу.....	12
	3.2. Описание лабораторной установки	12
	3.3 Методические указания по выполнению лабораторной работы и по подготовке течеискателя ПТИ-6 к работе.....	13
	3.4. Содержание отчета	18
4	Контрольные вопросы	11
	Список литературы.....	19
	Приложение_Методика работы с вакуумметром ВСБ-1	20

1 Введение

Широкое применение вакуумных установок в различных областях промышленности обязано значительным успехам в разработке методов конструирования и освоения технологии изготовления деталей вакуумных систем из различных материалов, преимущественно из металлов. Помимо требований, предъявляемых к деталям машин в общем машиностроении, к деталям вакуумных установок предъявляются дополнительные требования:

- стенки и места соединений деталей должны быть герметичными;
- размеры поверхностей, обращенных к вакууму, должны быть сведены к минимуму, в том числе и за счет чистоты их обработки.

В связи с этим все узлы и детали, используемые в вакуумной системе, перед сборкой необходимо проверить на герметичность, что предотвращает непроизводительные затраты времени и средств для отыскания мест натекания в уже собранной системе. Если все же суммарное натекание в собранной вакуумной системе превышает допустимую величину, то необходимо отыскать течи и устранить их.

Целью настоящей работы является изучение методов оценки герметичности вакуумной системы и методов поиска течей, ознакомление с принципами действия и основными характеристиками аппаратуры, применяемой для течеискания, освоение методов течеискания.

2 Теоретическая часть

2.1 Общие положения

В вакуумной технике под течеисканием понимается совокупность средств, методов и способов обнаружения течей и установления степени герметичности вакуумных систем.

Герметичность вакуумной системы - это свойство всех ее элементов и их соединений обеспечивать настолько малое проникновение (натекание) газа через них, чтобы им можно было пренебречь в рабочих условиях. Степень герметичности вакуумной системы характеризуется общим потоком воздуха, перетекающего в единицу времени из атмосферы в вакуум через все имеющиеся в оболочке системы течи при нормальных условиях. Нормальными условиями считаются атмосферное явление, равное $(10^5 \pm 4 \cdot 10^3)$ Па; температура окружающей среды, равная $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Место нарушения сплошности оболочки называют течью. Величина течи, также как и степень герметичности, характеризуется потоком воздуха, перетекающего через течь в единицу времени при нормальных условиях. Величина потока воздуха оценивается в единицах PV за секунду ($\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$ или Вт).

Требования к степени герметичности вакуумной системы определяются величиной максимально допустимого натекания в систему. При контроле герметичности системы следует различать две основные технологические операции:

- 1) контроль герметичности - технологическая операция, служащая для установления степени герметичности системы;
- 2) поиск течи - операция, заключающаяся в обнаружении мест расположения единичных течей.

Для установления степени герметичности системы с одной стороны оболочки подают пробное вещество - газ или жидкость, легко выделяемые в окружающей среде или в составе остаточного газа. С другой стороны оболочки фиксируют появление и количественное изменение содержания пробного вещества. По способу создания потока и выделения пробного вещества различают следующие методы контроля герметичности:

- метод искрового разряда;
- метод накопления течи;
- манометрический метод (метод анализа кривых откачки, метод пробной жидкости);
- масспектрометрический метод.

2.2 Метод искрового разряда

Метод искрового разряда применяется для анализа стеклянных вакуумных систем. Для анализа течи используется высоковольтный трансформатор на напряжение около 20000 В. Один конец трансформатора заземлен. Второй конец через высокоомное сопротивление в специальном держателе подносится к месту предполагаемой течи. Искра локализуется в место течи. Внутри вакуумной системы при этом загорается тлеющий разряд

2.3 Метод накопления течи

Этот метод основан на анализе изменения давления в отсеченном с помощью затворов элементе вакуумной системы. Обычно отсечку начинают с форвакуумного насоса. Далее строится распределение давления по элементам вакуумной схемы. Часто измерение давления в элементах вакуумной системы проводят через некоторое время, тем самым, давая течи «накопиться».

2.4 Манометрический метод течеискания

Манометрический метод наиболее прост и удобен для оценки степени герметичности вакуумной системы, имеющей собственные средства откачки и измерения давления, так как не требует специального

оборудования. Для контроля герметичности может быть использован любой манометрический преобразователь, имеющийся в системе. Этим методом может быть определено суммарное натекание в систему и могут быть выявлены единичные течи.

Для определения суммарного натекания предварительно откаченную до динамического предельного давления испытываемую вакуумную систему разобщают от средств откачки и строят график изменения давления в изолированной вакуумной системе. Возможны три зависимости изменения давления во времени в изолированной вакуумной системе. Эти зависимости приведены на рис.2.1.

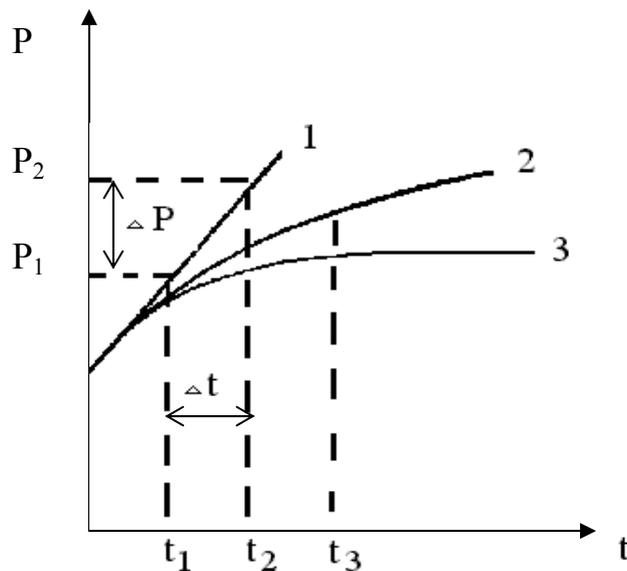


Рисунок 2.1 - Изменение давления во времени в изолированной вакуумной системе

Зная объем вакуумной системы, изменение давления ΔP на линейном участке кривой и время Δt , за которое произошло изменение давления, можно рассчитать величину натекания по формуле (2.1):

$$B = V \frac{\Delta P}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

где B - натекание, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$;

V - объем вакуумной системы, м^3 .

Для поиска течей могут быть использованы любые манометрические преобразователи, показания которых зависят от рода газа, например, ионизационные и тепловые. Поиск течей сводится к следующему. После достижения в системе установившегося давления, подозреваемые в натекании, места обдувают пробным газом или пробным веществом. Изменения показаний вакуумметра свидетельствуют о наличии течей. Наибольший эффект дает работа с жидкими пробными веществами (ацетон, спирт, бензин). Небольшие количества жидкости, проникшие в вакуумную систему через течь, испаряясь в вакуум, резко увеличивают общее давление в системе.

Поиск течей с помощью жидких пробных веществ наряду с большой эффективностью имеет свои недостатки. Подъем жидкости по каналу малых течей, меньших 10^{-7} м³. Па/с, происходит за время от нескольких минут до нескольких часов. Поэтому вакуумметр может среагировать на пробное вещество в тот момент, когда будет обследоваться уже другой участок поверхности. Это приводит к возникновению ложных представлений о месте расположения течей. Чтобы убедиться в правильности обнаружения места расположения течи, удаляют пробное вещество и после установления давления в системе повторяют испытание.

Работа с газообразными пробными веществами не так эффективна (меньше изменение показаний вакуумметра), но реакция вакуумметра на пробное газообразное вещество возникает практически мгновенно в силу высокой проникающей способности газа.

Для количественной оценки величины течи необходимо знать свойства используемого манометрического преобразователя.

При использовании ионизационных манометрических преобразователей поток газа через течь близок к молекулярному и замена воздуха другим газом в потоке через течь не сопровождается изменением давления в объеме (пропорционально меняются скорости натекания и откачки). Для этих двух случаев можно записать выражения для тока коллектора ионизационного манометрического преобразователя.

$$I_i = P \cdot K_g \cdot I_e, \quad (2.2)$$

$$\dot{I}_i = P \cdot K_n \cdot I_e \quad (2.3)$$

где I_i, \dot{I}_i - ионные токи коллектора манометрического преобразователя, при измерении давления воздуха и пробного газа, соответственно;

K_g, K_n - коэффициенты чувствительности преобразователя по воздуху и пробному газу, соответственно;

I_e - ток эмиссии катода преобразователя.

$$\Delta I_i = I_i - \dot{I}_i = P \cdot I_e (K_g - K_n) = P \cdot I_e \cdot K_g (1 - \beta_i), \quad (2.4)$$

где β_i - коэффициент относительной чувствительности преобразователя по пробному газу ($\beta_i = K_n / K_g$).

Выражение (2.4) может быть представлено в следующем виде

$$\Delta I_i = \frac{Q^{\text{в}}}{S_o \cdot C} (1 - \beta_i), \quad (2.5)$$

где $Q^{\text{в}}$ - поток воздуха через обнаруживаемую течь в условиях испытаний, равный величине течи ($Q^{\text{в}} = B$);

S_o - эффективная быстрота откачки испытуемого объема;

C - постоянная преобразователя, зависящая от тока эмиссии катода ($C = 1 / (K_g \cdot I_e)$).

Количественная оценка течи с помощью теплового манометрического преобразователя затруднена из-за нелинейности градуировочной характеристики преобразователя.

Минимальная величина течей, выявленных манометрическим методом, зависит от общего давления в системе, которое в данном случае, является фоном. По мере обнаружения и устранения течей установившееся давление в системе понижается и соответственно повышается вероятность обнаружения все более малых течей.

2.5 Масс-спектрометрический метод течеискания

Распространенным в вакуумной технике методом контроля герметичности и поиска течей является масс-спектрометрический метод, обладающий высокой чувствительностью. Сущность метода заключается в регистрации прохождения через оболочку вакуумной системы пробного вещества с помощью масс-спектрометра, настроенного на данное пробное вещество. Промышленные течеискатели используют в качестве пробного вещества гелий. Выбор гелия обусловлен тем, что концентрация гелия в атмосфере очень мала ($\gamma_{\text{He}} = 5 \cdot 10^{-4} \%$); размер атомов гелия минимальный; он не горит и легче воздуха; в составе газов, выделяющихся со стенок вакуумной аппаратуры, отсутствует.

Основной частью течеискателя является масс-спектрометрический анализатор с магнитным отклонением пучка ионов. Откачка камеры масс-спектрометра производится собственной насосной группой течеискателя. Вакуумная система течеискателя (рис.2.2) состоит из небольшого диффузионного насоса с воздушным охлаждением, соединенного с механическим вращательным насосом.

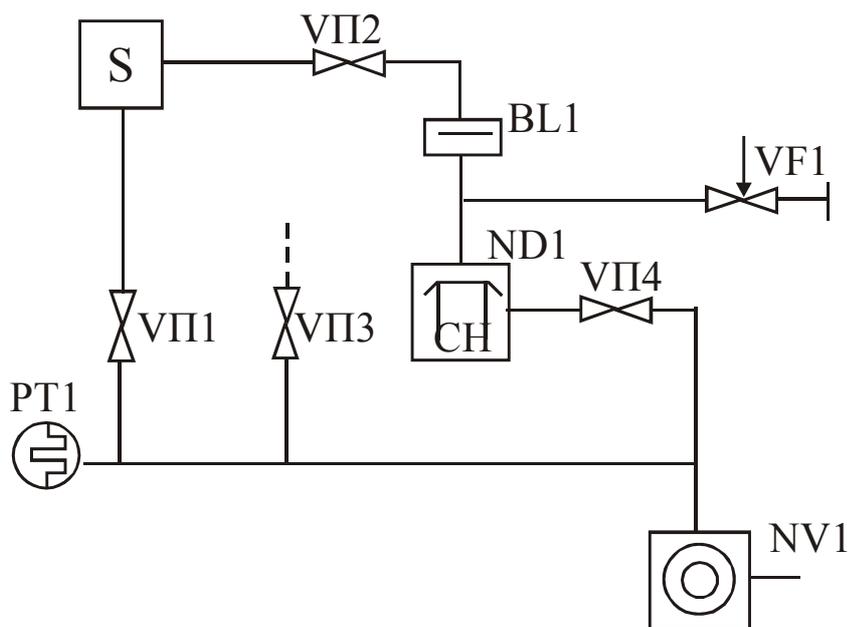


Рисунок 2.2 - Вакуумная схема масс-спектрометрического течеискателя ПТИ-6

Все необходимые коммутации производятся с помощью клапанов ДУ-8 (VIII, VIII3, VIII4), ДУ-25 (VII2) и Д-32 (VI1). Масс-спектрметрическая камера S имеет обводную откачку, позволяющую менять сгоревший катод ионизатора без охлаждения диффузионного насоса NDI (НВО-40). Вакуумная система течеискателя посредством фланцевого соединения дросселирующего клапана VI1 подключается к вакуумной системе испытываемой установки.

Масс-спектрметрическая камера имеет ионный источник, в котором под действием потока электронов, испускаемых термокатодом, ионизируются газы, поступающие в камеру через вакуумную систему течеискателя из вакуумной системы испытываемой установки. Электрическое поле, ускоряющее ионы, и магнитное поле, разделяющее их на различные потоки, согласованы таким образом, что на коллектор попадают только положительные ионы гелия. Величина ионного тока пропорциональна давлению в камере масс-спектрометра и, соответственно, давлению гелия в объеме испытываемой системы. До момента попадания гелия в вакуумную систему ток коллектора (ионный ток) масс-спектрометра очень мал. В процессе перемещения обдувателя, соединенного с баллоном или кислородной подушкой, заполненных гелием, вблизи негерметичного места испытываемой вакуумной системы в камере масс-спектрометра происходит повышение давления вследствие проникновения гелия. Если через некоторое время отнести обдуватель от негерметичного места, то из-за прекращения поступления гелия в вакуумную систему, происходит падение давления гелия в камере масс-спектрометра в результате работы насосной системы течеискателя и насосной системы испытываемой установки. Характер роста и снижения давления зависит от отношения скорости откачки S_0 к откачиваемому объему испытываемой системы V .

Если количество газа, проходящего через течь за время dt , составляет $Q_{He} \cdot dt$, а количество откачанного газа равно $P_{He} \cdot S_0 \cdot dt$, то изменение давления гелия, начиная с момента закрытия течи гелием ($t=0$), описывается уравнением

$$V \cdot dP = (Q_{He} - S_0 \cdot P_{He}) \cdot dt. \quad (2.6)$$

Так как в процессе испытания на герметичность $Q_{He} = const$, то изменение давления гелия во времени описывается выражением

$$P_{He}(t) = \frac{Q_{He}}{S_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{S_0}{V} \cdot t\right) \right]. \quad (2.7)$$

После снятия струи гелия с места течи в момент времени $t = t_1$ давление гелия в объеме вакуумной системы начинает падать в соответствии с уравнением

$$P_{He}(t) = \frac{Q'_{He}}{So} \left[1 - \exp\left(-\frac{So}{V} \cdot t_1\right) \right] \cdot \exp\left[-\frac{So}{V}\right](t - t_1). \quad (2.8)$$

На выносном пульте управления течеискателем (ВПУ-1) будет фиксироваться изменение выходного напряжения, пропорциональное изменению давления гелия в вакуумной системе.

Время закрытия течи струей гелия должно находиться в пределах $\tau \leq t_l \leq 10\tau$ ($\tau = V/So$). При $t_l \approx 3\tau$ обеспечивается практически достижение максимально возможного давления гелия ($P_{He} = Q'_{He}/So$). При $t_l \approx 10\tau$ форма пика гелия, фиксируемая выносным прибором, будет близка к прямоугольной и это обеспечивает четкую фиксацию проникновения гелия через течь, т.е. локализацию течи. На практике обычно время закрытия течи берут менее 3τ . Если взять $t_l < \tau$, то снижается чувствительность метода поиска течи и на результаты работы сильное влияние будут оказывать флуктуации показаний выносного прибора течеискателя.

Максимальная чувствительность течеискания будет в том случае, когда объем испытываемой системы может быть откачан до рабочего давления течеискателя вакуумной системой самого течеискателя, т.е. когда удастся полностью открыть дросселирующий клапан *VFI* и отключить вращательный (форвакуумный) насос испытываемой вакуумной системы. В этом случае в течеискатель попадает весь гелий, прошедший через течь.

2.6 Контрольные вопросы

1. Каковы достоинства и недостатки использованных методов поиска течи?
2. Что такое мнимые течи?
3. Как регулируется чувствительность течеискателя через параметры диффузионного насоса?
4. Как математически связано время обдувания течи с параметрами откачки?
5. Как определить поток натекания, зная давление и марку насоса?
6. Как отличить поток десорбции от потока натекания?
7. Как провести оценку течи, исходя из показаний течеискателя?
8. Покажите математически почему для работы течеискателя применяется гелий?
9. Какие места вакуумной системы наиболее предпочтительны для подключения течеискателя?
10. Объясните экспресс – методы обработки графиков откачки в течеискании.

3 Экспериментальная часть

3.1 Задание на работу

3.1.2. Записать паспортные данные насосов испытываемой вакуумной системы и подсчитать постоянную скорость откачки.

3.1.3. Определить необходимое время закрытия течи.

3.1.4. Выписать паспортные параметры течеискателя и оценить реальную чувствительность его.

3.1.5. Ознакомиться с устройством откачного поста ВУП-4 и течеискателя ПТИ-6.

3.1.6. Изучить предложенные преподавателем методы течеискания и освоить их на практике.

3.1.7. Дать оценку степени герметичности испытываемой вакуумной системы.

3.1.8. Определить допустимое натекание в вакуумную систему для случая откачки объема только механическим насосом 2НВР-5ДМ и для случая откачки насосами Н-160/700 и 2НВР-5ДМ.

3.1.9. Найти негерметичную часть установки и определить величину общего натекания.

3.1.10. Локализовать течи и оценить их величины.

3.1.11. Рассчитать форму пика гелия для выбранного времени закрытия течи.

3.1.12. Определить экспериментально форму пика гелия и сравнить ее с расчетной.

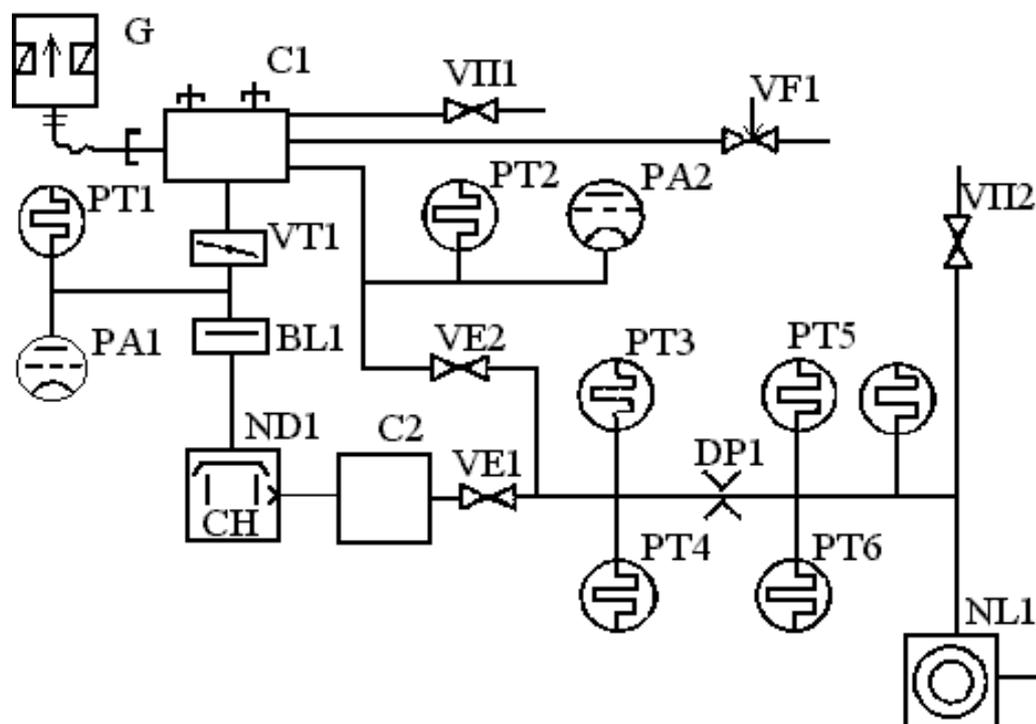
3.2 Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

- откачной пост типа ВПУ-4;
- масс-спектрометрический течеискатель 1ГШ-6;
- искровой течеискатель;
- вакуумметры ВСБ-1, ВНТ-1А и ВИТ-2.

Схема вакуумной системы установки приведена на рис.3.1. Вакуумная камера C_1 объемом $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ снабжена съемной крышкой, содержащей семь штуцерных разъемных соединений с резиновым уплотнением. С помощью одного из штуцерных соединений к вакуумной камере подсоединен гелиевый течеискатель ПТИ-6 (G). Остальные штуцерные соединения используются для подключения к вакуумной камере различных манометрических преобразователей (ПМТ-6, ПМТ-2, ПМИ-2), разрядных трубок, дополнительных вакуумных объемов, присутствие которых определяется задачами эксперимента. Откачка камеры может осуществляться механическим насосом 2НВР-5ДМ (NLI) и высоковакуумным диффузионным насосом Н-160/700 (NDI). В форвакуумную магистраль введен дроссель DI , который совместно с

манометрическими датчиками $PT3 - PT6$ типа ПМТ-6 входит в состав потокомера



$C1$ - вакуумная камера; G - течеискатель масс-спектрометрический ПТИ-6; $ND1$ - насос диффузионный Н-160/700; $C2$ - баллон форвакуумный; $NL1$ - насос форвакуумный 2НВПР-5ДМ; $PT1-PT2$ - преобразователь манометрический ПМТ-2; $PA1 - PA2$ - преобразователь манометрический ПМИ-2; $PT3 - PT6$ - преобразователь манометрический ПМТ-6; $DP1$ - диафрагма дросселирующая потокомера; $VII1, VII2$ - клапан вакуумный с ручным управлением; $VF1$ - натекатель с ручным управлением; $VT1$ - клапан вакуумный тарельчатый; $VE1, VE2$ - клапан вакуумный электромагнитный; $PT7$ - преобразователь манометрический ПМТ-2.

Рисунок 3.1 – Схема вакуумной системы установки

Органы управления насосами, электромагнитными клапанами $VE1$ и $VE2$ расположены в правой стойке поста ВУП-4. Там же расположен вакуумметр, к входу которого подключены манометрические преобразователи $PT2$ (ПМТ-2) и $PA2$ (ПМИ-2). Электрические блоки остальных вакуумметров и потокомера расположены в стойке ВМБС-1.

3.3 Методические указания по выполнению лабораторной работы и по подготовке течеискателя ПТИ-6 к работе

3.3.1. Для получения допуска к работе необходимо ответить на все поставленные контрольные вопросы.

3.3.2. В связи с тем, что вакуумная система течеискателя выходит на режим в течение 30-40 мин (такое же время требуется на прогрев электрических блоков течеискателя), следует сначала запустить течеискатель. Время выхода течеискателя на рабочий режим использовать для знакомства с инструкциями по эксплуатации вакуумметров, изучения устройства вакуумного поста (приложение I).

Запуск течеискателя осуществляется в следующей последовательности. Проверить все ли клапаны закрыты. Включить тумблер СЕТЬ на передней панели течеискателя. При этом должен начать работать вентилятор диффузионного насоса. Включить механический насос выключателем МЕХАНИЧЕСКИЙ НАСОС. Включить термопарный вакуумметр. После достижения давления 5-8 Па в форвакуумной линии открыть клапан ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС.

Клапан находится на щитке вакуумных клапанов с левой стороны течеискателя. Когда давление вновь достигнет значения 5-8 Па в форвакуумной линии открыть клапан ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС и установить напряжение нагревателя насоса 220 В. Для этого, нажав вниз рукоятку тумблера НАПРЯЖЕНИЕ НАГРЕВАТЕЛЯ и удерживая ее в этом положении, установить с помощью автотрансформатора, расположенного на щитке вакуумных клапанов, требуемое напряжение по среднему прибору на панели включения.

Включить усилитель постоянного тока тумблером УПТ на панели включения с одновременным удержанием кнопки справа от тумблера в нажатом положении в течение 30-40 с. После отпущения кнопки должна продолжать гореть неоновая сигнальная лампа слева от тумблера. Переключатель шкалы на ВПУ-I должен находиться в положении ВЫКЛ.

По истечении 45-50 мин с момента включения диффузионного насоса закрыть клапан достижения давления 5-8 Па в форвакуумной линии открыть клапан ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС и открыть клапан КАМЕРА для предварительной откачки масс-спектрометрической камеры. Во избежание сильного загрязнения камеры парами рабочей жидкости механического насоса не следует долго оставлять камеру под откачкой механическим насосом. После достижения давления в форвакуумной линии достижения давления 5-8 Па в форвакуумной линии открыть клапан ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС. После этого открыть клапан ДУ-25 (ВП2, см. рис.2.2) между масс-спектрометрической камерой и диффузионным насосом. При последующем выключении течеискателя масс-спектрометрическую камеру следует оставить под вакуумом. Через 2-3 мин включить магнитоизрядный вакуумметр тумблером ВАКУУММЕТР МАГНИТНЫЙ, предварительно поставив тумблер с такой же гравировкой на панели включения в положение 2500 мкА. Стрелка прибора магнитного вакуумметра должна двигаться влево, что свидетельствует о работе диффузионного насоса. При достижении

рабочего давления в камере (100-150 мкА на шкале 500 мкА) включить накал катода ионизатора. Для этого следует:

- 1) включить тумблер СТАБИЛИЗАТОР ЭМИССИИ на панели включения. При этом должна загореться неоновая сигнальная лампа;
- 2) через 2-3 мин нажать на 5-10 с кнопку ПУСК на щитке управления. Переключатель ЭМИССИЯ должен быть в положении ВЫКЛ;
- 3) включить тумблер КАТОД на ВПУ-1;
- 4) поставить тумблер ЭМИССИЯ-УСКОРЯЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ на щитке управления в положение ЭМИССИЯ;
- 5) поставить переключатель ЭМИССИЯ в положение 1 мА. При этом должна загореться зеленая лампа КАТОД ВКЛЮЧЕН, прибор ЭМИССИЯ-УСКОРЯЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ должен показывать 1-2 мА. Через 2-3 мин поставить переключатель ЭМИССИЯ в положение 5 мА. Ток эмиссии при этом должен установиться около 5 мА. В случае, если прибор ЭМИССИЯ не показывает наличие тока, а зеленая сигнальная лампа горит, следует вторично нажать кнопку ПУСК.

Если нет тока эмиссии и горит красная сигнальная лампа СГОРЕЛ КАТОД, то следует об этом сообщить преподавателю, а самим дать предложения, как вскрыть масс-спектрометрическую камеру без остановки насосной группы.

После выведения катода на режим проверить наличие ускоряющего напряжения. Для этого тумблер ЭМИССИЯ-УСКОРЯЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ перевести в положение ЭМИССИЯ. Показания прибора при этом должны быть в пределах 300-400 В. После этого выключить катод тумблером КАТОД на ВПУ-1 и установить нуль усилитель постоянного тока. Для этого необходимо, последовательно переводя переключатель шкалы прибора на ВПУ-1 в сторону наибольшей чувствительности (вправо), установить на каждом пределе нуль прибора при помощи ручек ГРУБО и ПЛАВНО.

Для окончательной настройки течеискателя на пик гелия необходимо:

- 1) обеспечить свободный доступ воздуха на вход течеискателя. Это достигается приподнятием крышки вакуумной камеры *С1* испытуемой установки (см. рис. 3.1);
- 2) осторожно вращая маховик дросселирующего клапана ДО-32 (*VF1*, см. рис. 2.2), установить давление в камере, соответствующее току магнитного вакуумметра 350 мкА (риска рабочего давления);
- 3) включить катод тумблера КАТОД на ВПУ-1 (ток эмиссии должен быть около 5 мА);
- 4) вращая ось потенциометра РЕГУЛИРОВКА УСКОРЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ, получить максимальное отклонение стрелки прибора ВПУ-1. Для проверки правильности настройки течеискателя на пик гелия

следует закрыть клапан ДУ-32. Показания прибора ВПУ-I должны резко уменьшиться до величины, соответствующей остаточному фону гелия в камере масс-спектрометра. Для правильно настроенного течеискателя чувствительность его к атмосферному гелию при рабочем давлении в масс-спектрометрической камере должны быть не менее 10 мВ при напряжении на нагревателе пароструйного насоса 220 В.

При использовании течеискателя ПТИ-6 для количественного определения величины течи или натекания необходимо определить реальную чувствительность его, т.е. провести градуировку. В данной работе градуировка производится по смеси известной концентрации, дросселируемой в течеискатель до рабочего давления, когда в течеискатель поступает известный поток газа. В качестве смеси для градуировки используется атмосферный воздух, в котором концентрация гелия $\gamma_{\text{He}} = 5 \cdot 10^{-4} \%$ (1/200000).

В этом случае

$$S\gamma = \gamma_{\text{He}} / \alpha, \quad (3.1)$$

где $S\gamma$ - чувствительность течеискателя к концентрации газа, выраженная в долях или процентах на мВ;

$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ - отсчет в мВ, вызванный проникновением в течеискатель смеси с концентрацией γ_{He} (α_1 - фоновый отсчет при закрытом клапане ДУ-32 в мВ, α_2 - полный отсчет в мВ).

Предельная чувствительность, т.е. минимально обнаруживаемая концентрация

$$\gamma_{\text{He max}} = 2\Delta \alpha_1 \cdot S\gamma, \quad (3.2)$$

где $\Delta \alpha_1$ - максимальная амплитуда флюктуаций фона;

$2\Delta \alpha_1$ - отсчет на приборе ВПУ-I, принимаемый за достоверный.

Зная чувствительность $S\gamma$ и отсчет, вызванный проникшим через течь гелием, можно определить поток газа в течеискатель

$$Q'_{\text{He}} = P_{\text{He}} \cdot S\gamma, \quad (3.3)$$

где P_{He} - давление гелия в камере масс-спектрометра;

$S\gamma$ - эффективная скорость откачки камеры масс-спектрометра.

Давление гелия в камере связано с рабочим давлением течеискателя P_0 следующим соотношением

$$P_{\text{He}} = \gamma_{\text{He}} \cdot P_0. \quad (3.4)$$

Тогда $Q'_{\text{He}} = \gamma_{\text{He}} \cdot P_0 \cdot S\gamma$, но из выражения (3.1) следует, что $\gamma_{\text{He}} = S\gamma / \alpha$, следовательно,

$$Q'_{\text{He}} = \alpha \cdot S\gamma \cdot P_0 \cdot S\gamma. \quad (3.5)$$

Для течеискателя ПТИ-6 $S\gamma = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, а $P_0 = 2,66 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$.

Выражение (3.5) можно представить в виде

$$Q_{He} = \alpha \cdot S_{O}, \quad (3.6)$$

где $S_{O} = S_{\gamma} \cdot P_{O} \cdot S_{O}$ - чувствительность течеискателя по потоку газа.

3.3.3. Выключение течеискателя проводится в следующей последовательности:

- 1) закрыть дросселирующий клапан ДУ-32;
- 2) выключить катод тумблером КАТОД на ВПУ-1;
- 3) переключатель ЭМИССИЯ поставить в положение ВЫКЛ.;
- 4) закрыть клапан ДУ-25;
- 5) тумблеры УПТ, СТАБИЛИЗАТОР ЭМИССИИ, ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС, ВАКУУММЕТР МАГНИТНЫЙ поставить в положение ВЫКЛЮЧЕНО;
- 6) через 30 мин закрыть клапан ПАРОСТРУЙНЫЙ НАСОС, выключатели МЕХАНИЧЕСКИЙ НАСОС И СЕТЬ поставить в положение ВЫКЛЮЧЕНО;
- 7) открыть клапан ДУ-8 АТМОСФЕРА.

В таком состоянии течеискатель может быть оставлен до следующего включения.

3.3.4. Техника поиска течей заключается в следующем. В испытываемой вакуумной системе создается установившееся пониженное давление. Течеискатель к этому времени должен быть подготовлен к работе, однако катод масс-спектрометрической камеры должен быть выключен. Открывая дросселирующий клапан ДУ-32, установить рабочее давление в масс-спектрометрической камере течеискателя. Если дросселирующий клапан полностью открыт, а давление в масс-спектрометрической камере меньше рабочего, следует с помощью винтового накидного зажима обеспечить пережатие резинового вакуумного трубопровода на участке между диффузионным *NDI* и механическим *NLI* насосами (см. рис.3.1). Пережатие увеличивается до тех пор, пока давление в камере не достигнет рабочего. Может иметь место полное пережатие вакуумного трубопровода и откачка испытываемой системы только насосной группой течеискателя.

Включить катод масс-спектрометрической камеры и произвести обдув гелием испытываемой установки, начиная с наиболее удаленной от насосов части и которая находится выше других в пространстве, постепенно приближаясь к механическому насосу как по схеме вакуумной системы, так и по расположению в пространстве обследуемых участков оболочки вакуумной системы.

Обдув производится с помощью обдувателя пистолетного типа, подсоединенного к медицинской кислородной подушке, заполненной гелием. Скорость перемещения должна быть такой, чтобы выполнялось условие $\tau \leq t_f \leq 3\tau$. Рекомендуется сопло обдувателя располагать на расстоянии порядка 1 см от поверхности оболочки установки. Тогда

струей гелия будет перекрыт участок поверхности диаметром около 1 см. При скорости перемещения обдувателя 1 см/с время закрытия течи будет порядка 1 с. Снижение скорости перемещения обдувателя неоправданно увеличивает длительность испытаний: увеличение скорости перемещения обдувателя может привести к пропуску малых течей.

3.3.5. Запуск вакуумной системы поста ВУП-4 производится следующим образом. Проверить состояние клапана *VP2* (см. рис.3.1). Клапан должен быть закрыт (клапан находится на задней стенке ВУП-4). Запустить насос 2НВР-5ДМ (*NL1*) нажатием кнопки *ФН* (форвакуумный насос). Включить вакуумметр ВИТ-1А в стойке ВМБС-1 и проверить работоспособность насоса *NL1*. У нормально работающего насоса давление на входе через 3-5 мин после запуска должно быть не более 10 Па.

Откачать рабочую камеру *C1* механическим насосом. Для этого открыть клапан *VE2* путем нажатия кнопки *ПВ* (предварительный вакуум).

После 10-15 минут приступить к поиску течи.

3.3.6. Остановка вакуумной системы поста ВУП-4 производится следующим образом.

Закрыть клапан *VT1*. Выключить термопарные вакуумметры и остановить механический насос. Открыть на 1-3 с клапан *VP2* (напуск газа в насос) и вновь его закрыть. Перекрыть воду в системе охлаждения установки. Выключить вентилятор и обесточить установку.

3.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) схемы вакуумных систем установок ВУП-4 и ПТИ-6 с указанием диапазона работы датчиков и насосов;
- 2) эскиз узлов с указанием мест течи;
- 3) уравнение газового баланса;
- 4) расчет эквивалентности диаметра течи;
- 5) данные по чувствительности манометрического датчика для различных пробных жидкостей при токах накала 150 мА;
- 6) конструкции нескольких вакуумплотных соединений;
- 7) расчет совместимости откачных средств;
- 8) алгоритм включения и выключения течеискателя;
- 9) схему масс-спектрометрической камеры;
- 10) распечатки программ и расчетов на ЭВМ.

Список литературы

1. Барыбин В.Г. Физико- технологические основы электроники. СПб.: Лань, 2001.- 270 с.
2. Шадрин Г.А. Лабораторный практикум по дисциплине материалы и компоненты электронной техники. Томск.: ТПУ, 2000.- 128 с.
3. Данилина Т.И. Смирнов С.В. Ионно-плазменная технология в производстве СБИС. Томск.: ТУСУР, 2000.- 140 с.
4. Великов Л.В. Проблемы микроэлектроники в технологии. М.: Наука 1994.- 78 с.
5. Василенко Н.В., Иванов Е.Н. Вакуумное оборудование тонкопленочной технологии производства изделий электронной техники. Красноярск.: Сиб. Аэрокосм. Акад, 1996.- 416 с.

Методика работы с вакуумметром ВСБ-1

Вакуумметр ВСБ-1 это тепловой вакуумметр сопротивления блокировочный с выдачей информации на показывающий и самопишущий приборы. Подготовка прибора к работе производится следующим образом.

Установить переключатель в положение КАЛИБРОВКА ВАКУУММЕТРА. Включить вилку сетевого кабеля в сеть 220 В. Включить тумблер СЕТЬ, при этом должна загореться лампочка ПЕРВЫЙ (30-0,7 мм рт.ст.). Дать прибору прогреться в течение 15-30 мин.

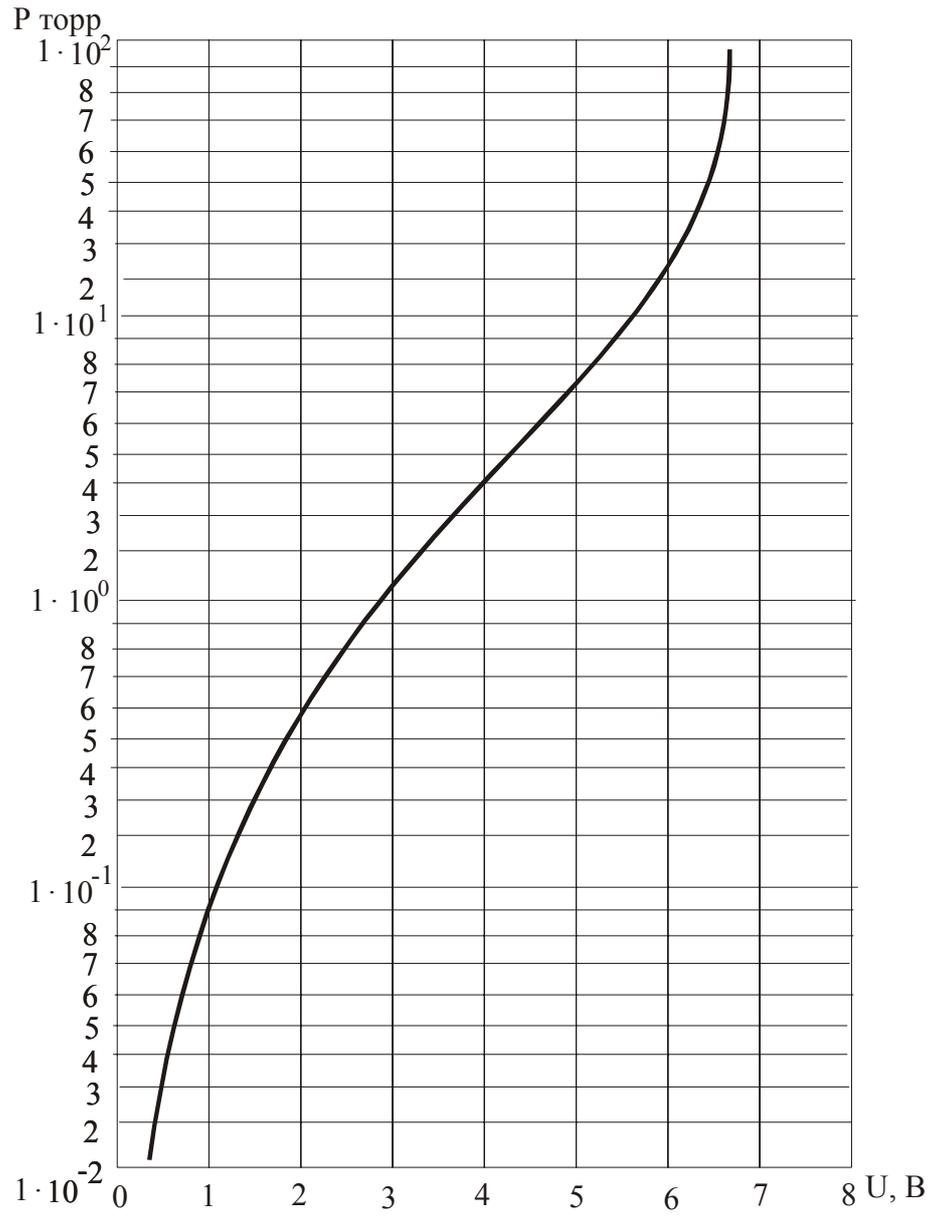
Произвести калибровку прибора. Для этого резистором КАЛИБРОВКА ВАКУУММЕТРА - УСТАНОВИТЬ НА РИСКУ установить стрелку прибора измерительного блока на риск (середина верхней шкалы), при этом должен быть включен сигнал ПЕРВЫЙ (30-0,7 мм рт.ст.).

Перевести переключатель в положение ИЗМЕРЕНИЕ ВАКУУМА. Резистором КОРРЕКТОР на задней стенке шасси стрелку измерительного прибора установить на конец шкалы. В процессе калибровки давление в вакуумной системе, с которой соединен манометрический преобразователь ПМТ-6, должно быть равно атмосферному. Прибор готов к работе.

Измерение давления при откачке вакуумной системы осуществляется в пределах $4 \cdot 10^3 - 1,33$ Па. Прибор имеет два диапазона $4 \cdot 10^3 - 10^2$ Па и $10^2 - 1,33$ Па. Переход с одного диапазона давлений на другой осуществляется автоматически. Шкала измерительного прибора градуирована в вольтах. Переход к значениям давления производится с помощью типовой градуировочной кривой, приведенной на рисунке.

При записи давления на ленте самописца ПС1-С2 необходимо иметь ввиду то обстоятельство, что шкала стрелочного прибора ВСБ-1 нелинейна, а шкала ПС1-02 линейна. Для расшифровки диаграммы самописца следует на ней делать записи текущего давления, т.е. сразу же по ходу вычерчивания диаграммы проводить ее градуировку.

Градуировочная кривая ПМТ-6



Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Исследование вакуумной системы на герметичность

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Технология материалов и изделий электронной
техники»

Усл. печ. л. _____ Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40