

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

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСЛЯНЫХ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ

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

Орликов, Леонид Николаевич

Исследование масляных средств откачки = 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. - 18 с.

Целью настоящей работы является изучение принципа действия и конструкции высоковакуумного паромасляного насоса на примере насоса Н-2Т, а также освоение методики измерения основных его параметров, определение взаимосвязи параметров насоса с внешними параметрами системы.

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 МАСЛЯНЫХ СРЕДСТВ ОТКАЧКИ

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 Основные характеристики вакуумных насосов	5
2.2 Конструкция и принцип действия высоковакуумного насоса	6
2.3 Факторы, влияющие на параметры высоковакуумных насосов	7
2.4 Контрольные вопросы	10
3. Экспериментальная часть	11
3.1 Оборудование	11
3.2 Задание	12
3.3 Методические указания по выполнению лабораторной работы	12
3.4. Содержание отчета	17
Список рекомендуемой литературы	17

1 Введение

Вакуумная техника, помимо традиционного применения в производстве электровакуумных приборов и приборов твердотельной электроники, получила широкое распространение в самых разнообразных областях науки и техники - от обработки продуктов питания и изготовления строительных материалов до имитации космического пространства и проведения уникальных физических исследований [1-3]. В результате большое число работающих привлекается к обслуживанию вакуумного оборудования.

Основой вакуумной техники являются средства откачки. Поэтому целью настоящей работы является изучение принципа действия и конструкции высоковакуумного паромасляного насоса на примере насоса Н-2Т, а также освоение методики измерения основных его параметров. Определение взаимосвязи параметров насоса с внешними параметрами системы.

2 Теоретическая часть

2.1 Основные характеристики вакуумных насосов

К основным характеристикам вакуумных насосов относятся:

- предельное давление, $P_{пр}, Па$
- быстрота действия, $S_H, м^3/с$
- производительность, $P_H, м^3 \cdot Па/с$
- наибольшее давление запуска, $P_{зап}, Па$
- наибольшее рабочее давление, $P_{вхmax}, Па$
- наибольшее выпускное давление, $P_{кр}, Па$
- наименьшее рабочее давление, $P_m, Па$

Предельное или остаточное давление насоса - это минимальное давление, которое может обеспечить насос, работая без откачиваемого объекта.

Быстрота действия насоса - это объем газа, удаляемый насосом в единицу времени через входной патрубок при давлении $P_{вх}$

$$S_H = \frac{dV}{dt} \quad (2.1)$$

Производительность вакуумного насоса характеризует расход газа во входном сечении насосе при данном давлении

$$P_H = S_H \cdot P_{вх} \quad (2.2)$$

Наибольшее давление запуска насоса - это то наибольшее давление в его входном сечении, при котором насос может начать работу. Наибольшее рабочее давление насоса - это то наибольшее давление в его входном сечении, при котором насос длительное время сохраняет номинальную быстроту действия.

Наибольшее выпускное или критическое давление - максимальное давление в выходном сечении насосе, при котором он может осуществлять откачку.

Наименьшее рабочее давление - это минимальное давление, при котором насос длительное время сохраняет номинальную быстроту действия. Наименьшее рабочее давление примерно на порядок выше предельного давления.

2.2 Конструкция и принцип действия высоковакуумного диффузионного насоса

Высоковакуумные диффузионные насосы различных марок имеют одинаковое принципиальное устройство. Производительность насосов пропорциональна его габаритам.

Схема высоковакуумного насоса Н-2Т, входящего в ряд диффузионных насосов единой серии, приведена на рис.2.1.

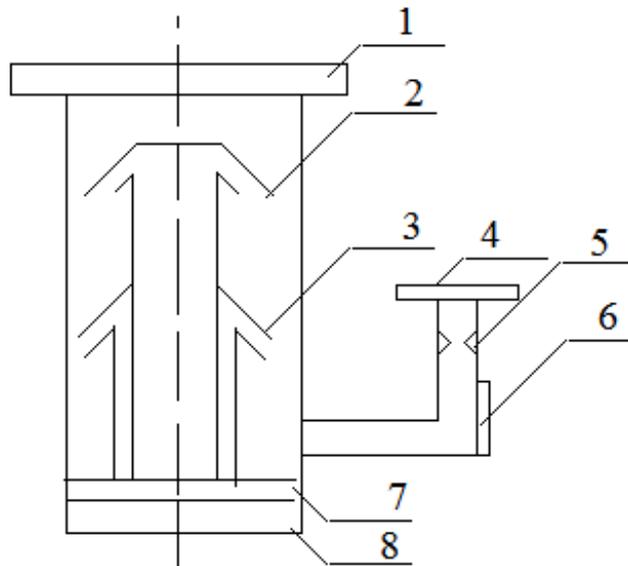


Рисунок 2.1 – Схема высоковакуумного насоса. 1 – посадочный фланец; 2, 3 – сопла; 4 – фланец подключения форвакуумного насоса; 5 – эжекторное сопло; 6 – фланец крепления сопел.

Корпус насоса выполнен из малоуглеродистой стали с наваренной на него рубашкой водяного охлаждения. Паропровод заканчивается двумя зонтичными соплами из алюминия; последней выходной ступенью является эжектор 5. Молекулы газа, поступающие в насос из откачиваемого объема через входной патрубок, диффундируют в струю пара за счет разности

парциальных давлений газа в струе пара и вне ее и выносятся струей в сторону выходного патрубка. Таким образом, газ уплотняется от 10^{-3} Па на входе насоса до 10 Па на выходе.

2.3 Факторы, влияющие на параметры высоковакуумных насосов

2.3.1. В режиме предельного давления газ на вход насоса не поступает. В насосе устанавливается равновесие между числом молекул, переносимых струей пара из пространства над соплом, и числом молекул, проникающих в результате диффузии через струю пара из объема насоса. При этих условиях

$$P_{пр} = P_{вых} \cdot \exp\left(-\frac{V_{пар} L}{D_{гн}}\right), \quad (2.3)$$

где $P_{пр}$ - предельное давление насоса, Па;

$P_{вых}$ - давление на выходе насоса, Па;

$V_{пар}$ - направленная скорость струи пара, м/с;

$D_{гн}$ - коэффициент диффузии газа в пере, м²/с;

L - длина пути диффузии, м.

Отношение $P_{вых}/P_{пр}$ называется коэффициентом сжатия диффузионного насоса.

Для случая, когда давление пара значительно больше давления, газа в струе пара, коэффициент диффузии может быть определен по формуле

$$D_{гн} = 85,1 \cdot 10^{-23} \cdot \left(\frac{M_{г} + M_{пар}}{M_{г} \cdot M_{пар}}\right)^{1/2} \cdot (\delta_{г} + \delta_{пар})^{-2} \cdot T_{пар}^{3/2} \cdot P_{пар}^{-1} \quad (2.4)$$

где $M_{г}$, $M_{пар}$ - молекулярные массы газа и пара соответственно

$\delta_{г}$, $\delta_{пар}$ - диаметры молекул газа и пара соответственно;

$T_{пар}$ - температура пара, К;

$P_{пар}$ - давление пара, Па.

При использовании в качестве рабочей жидкости масла ВМ-1 или ВМ-5

$M_{пар} = 450$ и $\delta_{пар} = 10 \cdot 10^{-10}$ м.

При номинальной мощности подогревателя насоса температура масла и пара равна 473 К, давление пара масла при этом соответствует 66 Па, а скорость пара 200 м/с.

В насосах с зонтичными соплами длина пути диффузии

$$L = (2 - 5) \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Чем ниже давление на стороне выхода из насоса ($P_{вых}$), тем меньшее предельное давление можно получить с помощью данного насоса. Поэтому на практике прибегают к конструированию двух-, трех- и многоступенчатых насосов. Коэффициент сжатия многоступенчатого насоса равен

произведению коэффициентов сжатия его ступеней.

Как видно из формулы (2.3), предельное давление зависит от скорости и давления пара. Последнее определяется мощностью подогревателя. При увеличении мощности подогревателя предельное давление должно уменьшаться. Это уменьшение P_{np} связано с уменьшением обратной диффузии газов. При дальнейшем увеличении мощности подогревателя возможно термическое разложение масла, сопровождающееся выделением газообразных продуктов, а также освобождением газов, растворенных в конденсате. Оба этих обстоятельства приводят к увеличению предельного давления насоса. Полное предельное давление должно включать давление паров рабочей жидкости, соответствующее температуре холодильника насоса

$$\underline{P_{np}} = P_{np} + P_{парнас} \quad (2.5)$$

где $\underline{P_{np}}$ - полное предельное давление;

$P_{парнас}$ - давление паров масла при температуре холодильника насоса или при температуре поверхности ловушки, помещенной на входе насосе.

2.3.2. Быстрота действия (или быстрота откачки) высоковакуумного насоса определяется числом молекул газа, падающих в единицу времени на плоскость диффузионной щели. Быстрота действия диффузионного насоса стремится к верхнему пределу, равному

$$S_H = \frac{A \cdot \bar{V}}{4} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{\bar{V}}{V_{пар}}} = \frac{A \cdot \bar{V}}{4} \cdot \chi_0 \quad (2.6)$$

где A - площадь диффузионной щели, m^2 ;

\bar{V} - средняя арифметическая скорость молекул газа, м/с,

χ_0 - вакуум-фактор или коэффициент эффективности диффузионной диаграммы.

Коэффициент χ_0 учитывает способность струи пара захватывать молекулы газа. Обычно χ_0 оказывается порядка 0,1-0,68 (зависит от рода газа и мощности подогревателя).

В реальных условиях быстрота действия, зависит от давления на входе в насос. Типичный график быстроты, действия диффузионного насоса в зависимости впускного давления представлен на рис.2.2.

Весь диапазон рабочих впускных давлений можно условно разделить на три области:

- область предельного давления I
- область постоянной быстроты действия II
- область наибольших рабочих давлений III

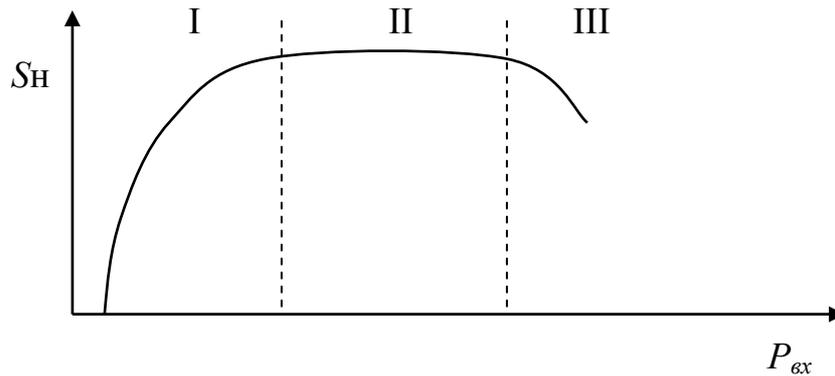


Рисунок 2.2 – Зависимость быстроты действия диффузионного насоса от впускного давления

Вредные процессы наиболее сильно сказываются в I области. Объясняется это тем, что количество газа, забираемое насосом из откачиваемого объема, при малых $P_{вх}$ невелико и соизмеримо с тем количеством, которое проникает в откачиваемый объем за счёт натекания и газоотделения. При входных давлениях, близких к предельному, быстрота действия может быть определена из выражения

$$S_n(P) = \frac{A \cdot \bar{V}}{4} \cdot \chi_0 \cdot \left(1 - \frac{P_{np}}{P_{вх}}\right) \quad (2.7)$$

С увеличением входного давления количество газа, откачиваемого струей пара, становится все больше и больше в сравнении с тем количеством, которое проникает обратно в откачиваемый объем, что приводит к возрастанию быстроты действия насоса.

При некотором значении $P_{вх}$ количество газа, удаляемое насосом, становится настолько значительным, что влияние вредных процессов оказывается практически незаметным. Поэтому быстрота действия насоса в некотором диапазоне входных давлений (область II) не зависит от величины $P_{вх}$. Горизонтальный участок кривой быстроты откачки бывает выражен более или менее резко в зависимости от конструкции сопла, режима работы насоса. Обычно он лежит в интервале давлений от 10^{-3} до 10^{-1} Па.

Дальнейшее увеличение входного давления (область III) вновь приводит к уменьшению быстроты действия насоса из-за снижения скорости диффузии откачиваемого газа в плотную паровую струю. Струя отражается от стенок корпуса насоса. При этом, естественно, возрастает обратный поток газа, и быстрота действия насоса падает. Работа насоса в этом режиме нестабильна и сопровождается поступлением в откачиваемый объем большого количества пара рабочей жидкости насоса.

При увеличении потока откачиваемого газа растет давление на входе механического насоса и, следовательно, на выходе диффузионного.

Чрезмерное увеличение выходного давления диффузионного насоса в свою очередь вызывает появление скачка уплотнения в паровой струе, постепенное оттеснение его к плоскости диффузии и, наконец, отрыв паровой струи от стенок насоса. Происходит срыв работа насоса, выражающийся в резком увеличении давления на входе насоса до значения давления на его выходе.

Быстрота действия насоса, как и предельное давление, зависит от мощности подогревателя. С повышением мощности подогрева, начиная с некоторого порогового значения, быстрота действия сначала увеличивается, а затем начинает уменьшаться. Возрастание быстроты действия объясняется тем, что с увеличением температуры масла увеличивается направленная скорость молекул, пара и плотность струи. Спад быстроты действия вызывается тем, что с дальнейшим увеличением температуры испарителя заметно возрастают хаотические тепловые скорости молекул пара (увеличивается плотность паровой опушки), следовательно, и обратное отражение молекул газе в сторону откачиваемого объема. Уменьшению быстроты действия насоса способствуют также процессы термического разложения рабочей жидкости.

2.3.3. Критическое давление зависит от скорости и плотности струи паре рабочей жидкости, определяемых температурой испарителя., т.е. скоростью испарения рабочей жидкости. Чем больше скорость испарения и, соответственно, давление пара $P_{пар}$, тем выше при прочих равных условиях критическое давление насоса. Кроме того, его величина определяется конструктивными особенностями насоса (устройство сопла, расстояние между соплом и корпусом насоса).

2.4 Контрольные вопросы

1. Как по марке насоса узнать его производительность?
2. Чем определяется предельный вакуум, развиваемый диффузионным насосом?
3. Как влияет температура нагревателя насоса на его характеристики?
4. Почему для работы диффузионного насоса необходимо охлаждение и нагрев?
5. Какие аварийные режимы могут происходить при некачественном включении или выключении диффузионного насоса?
6. Как влияет выходное давление высоковакуумного насоса на необходимую мощность форвакуумного насоса?
7. Какие диффузионные насосы не требуют на выходе форвакуумной откачки?
8. Как перестроить диффузионный насос для получения более глубокого вакуума?
9. Как уменьшить время выхода диффузионного насоса на режим?
10. Почему нельзя отключать форвакуумный насос сразу после

выключения диффузионного насоса?

3 Экспериментальная часть

3.1 Оборудование

Лабораторная работа выполняется на установке типа УВН-2М. Вакуумная схема установки приведена на рис.3.1.

Насосная группа установки включает высоковакуумный диффузионный (паромасляный) насос Н-2Т и насос предварительного разрежения (форвакуумный насос) типа 2НВР-5ДМ. Вакуумная система снабжена рядом манометрических преобразователей давления, позволяющих измерять давление на входе и выходе диффузионного насоса и на входе насоса предварительного разрежения. Для измерения потока газа, вводимого в насос в ходе эксперимента, служит измерительная бюретка. В качестве измерительного колпака используется рабочая вакуумная камера установки с объемом 120 л. Регулировка потока газа осуществляется с помощью игольчатого натекателя.

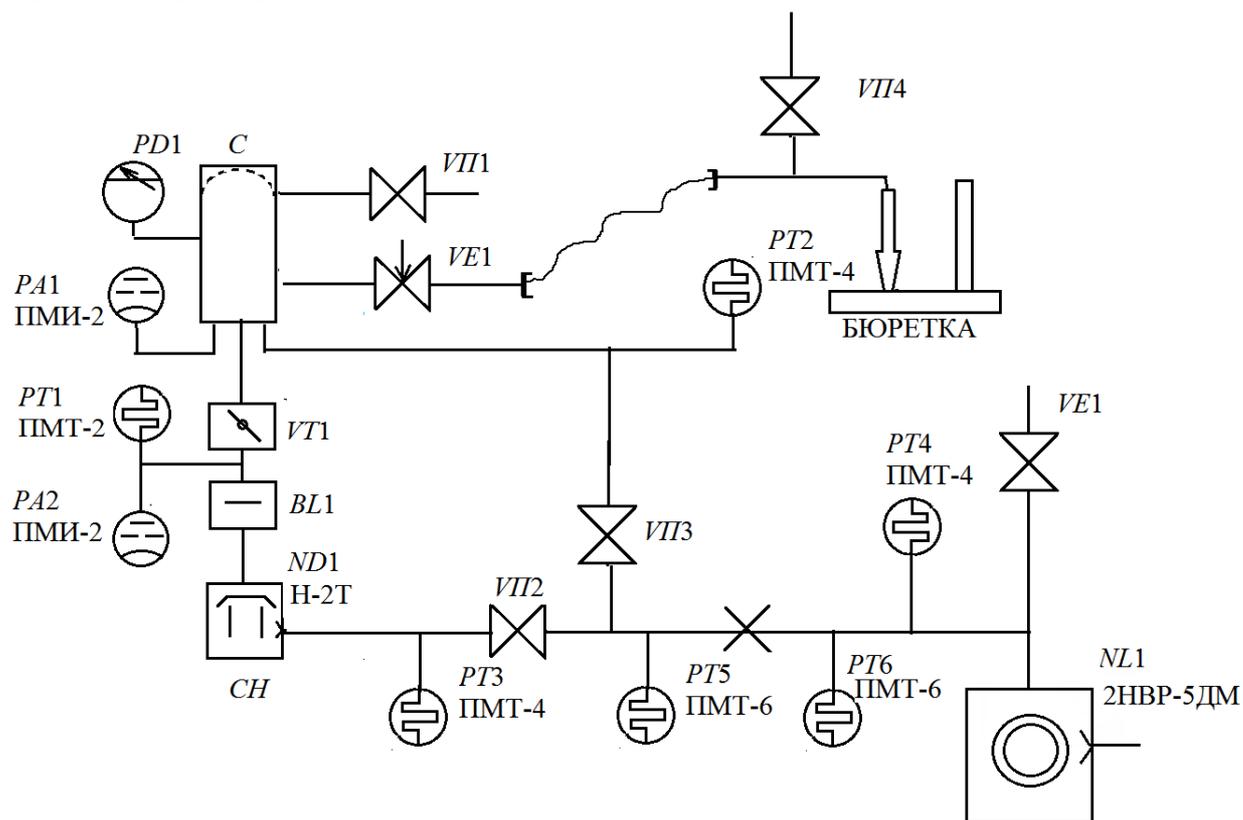


Рисунок 3.1 – Вакуумная схема установки УВН-2М

Вращательный насос *NL1* (2НВР-5ДМ) при помощи клапанов *VII2* и *VII3* может быть подключен либо к измерительному колпаку *C*, либо к диффузионному насосу *ND1* (Н-2Т) для создания необходимого предварительного разрежения в объеме насоса (ниже критического для насоса Н-2Т). При работе только вращательного насоса *NL1* давления в

различных точках вакуумной системы измеряются с помощью термопарных манометрических преобразователей *PT1 - PT4*.

Напуск атмосферного воздуха в остановленный вращательный насос производится с помощью натекателя *VE1* с электромагнитным приводом.

Манометрические преобразователи *PT5* и *PT6* совместно с диафрагмой *DP1* и электрическим блоком образуют потокомер [3], позволяющий измерять поток газа, поступающий в вакуумную систему установки.

3.2 Задание

3.2.1. Изучить конструкцию диффузионного насоса Н-2Т и записать его паспортные параметры.

3.2.2. Ознакомиться с вакуумной схемой установки и уяснить взаимосвязь ее элементов.

3.2.3. Ознакомиться с правилами эксплуатации вакуумметрической аппаратуры.

3.2.4. В соответствии с конкретным заданием на работу (задание выдает преподаватель) составить план эксперимента и обсудить его с преподавателями. В число заданий могут входить:

- исследование влияния входного давления на быстроту действия насоса;
- исследования влияния давления на выходе диффузионного насоса на его входное давление;
- определение рабочего диапазона давлений диффузионного насоса;
- исследование зависимости быстроты действия вращательного насоса *NL1* (2НВР-5ДМ) от давления на его входе;
- определение суммарного потока натекания и газоотделения в измерительном колпаке;
- определение аффективной скорости откачки измерительного колпака.

3.2.5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

3.3 Методические указания по выполнению лабораторной работы

3.3.1. Измерение предельного давления заключается в установление истинной величины давления, полученного в откачиваемом объеме с помощью конкретного насоса. На величину предельного давления влияют:

- состояние внутренних поверхностей насоса и вакуумной системы, т.е. их газовыделение;
- качество и подготовке рабочего вещества насоса, от которых зависит обратный поток углеводородов из насоса;
- величина натекания газа в систему.

В работе можно измерить предельное давление на входе собственно диффузионного насоса при закрытом тарельчатом клапане *VT1*, а также при работе насоса на измерительный колпак (клапан *VT1* открыт). В последнем случае мы получаем информацию о динамическом предельном давлении,

характеризующем состоянии вакуумной системы установки.

Измерение предельного давления производится после выхода диффузионного насоса на рабочий режим. Время выхода с момента включения подогревателя насоса составляет 30-40 мин. Результаты измерений целесообразно фиксировать с помощью самописца ПС1-02 стойки ВМБС-1. Давление, не изменяющееся в пределах ошибки измерений в течение часа, считается предельным давлением.

3.3.2. Измерение элективной быстроты откачки системы и быстроты действия насосов может производиться методом постоянного объема или методом постоянного давления [3].

Метод постоянного объема заключается в построении кривых понижения давления в процессе откачки сосуда известного объема и в последующем расчете быстроты откачки по формуле:

$$S_0 = \frac{V}{t} \cdot \ln \frac{P_1' - P_{01}}{P_1'' - P_{01}} \quad (3.1)$$

где S_0 - эффективная быстрота откачки системы, м³/с;

V - откачиваемый объем, м³;

P_1' - давление в начале рассматриваемого интервала откачки ($t = 0$);

P_1'' - давление в конце рассматриваемого интервала откачки;

P_{01} - наименьшее давление, которое может быть достигнуто в системе (динамическое предельное давление системы)

Метод постоянного объема применим в тех случаях, когда $\tau \geq 10$ ($\tau = V/S_0$ - постоянная скорости откачки системы).

Для определения быстроты действия диффузионных насосов, а также и насосов вращательных широко используется метод постоянного давления. В этом случае измерение быстроты действия сводится к измерению потока газа в системе и давления в заданном сечении. В основе метода лежит постоянство потока откачиваемого газа в любом сечении вакуумной системы:

$$Q' = S_1 \cdot P_1 = S_2 \cdot P_2 = \dots = S_n \cdot P_n = const \quad (3.2)$$

где индексы 1,2.....n указывает на то, что значение быстроты действия и давления относятся к 1,2.....n-му сечению вакуумной системы.

Формула для вычисления быстроты действия имеет вид:

$$S_i = Q' / P_i \quad (3.3)$$

где Q' - поток газа, вводимый в измерительный колпак, м³ · Па/с;

P_i - давление газа в сечении, в котором измеряется быстрота действия, Па.

Для измерения быстроты действия необходимо откачать объем

измерительного колпака до предельного давления. Кран *ИП4* измерительной баретки должен быть открыт. В таком положении кран должен находиться всегда, за исключением момента измерения потока газа. С помощью натекателя *ИФ1* устанавливается требуемое давление в измерительном колпаке или на входе насоса *НД1*. Включается питание отсчетного устройства бюретки и нажимается кнопка «ГОТОВО». Показания электромеханических счетчиков отсчетного устройства устанавливаются на нулевые отметки. Кран бюретки *ИП4* перекрывается. За счет убыли количества газа в изолированном от атмосферы объеме бюретки столб масла в измерительном колене начнет подниматься. При проходе столбом масла первого фотоэлектрического датчика запускается электромеханический счетчик импульсов (в одну секунду счетчик фиксирует 50 импульсов). При проходе же столбом масла второго фотоэлектрического датчика счетчик останавливается. Расстояние между фотоэлектрическими датчиками составляет 15 малых делений бюретки. Время поднятия столба на 15 делений бюретки определяется делением числа импульсов, зарегистрированных счетчиком, на 50.

Сразу же после остановки счетчика открывается кран *ИП4*. После опускания столба масла вновь надавить кнопку «ГОТОВО» и произвести вновь повторное измерение для определения среднего значения измеряемой величины.

При измерении быстроты действия с помощью бюретки расчетная формула имеет вид:

$$S_i = \frac{K_6 \cdot n}{P_i \cdot t} \quad (3.4)$$

где K_6 - постоянная бюретки, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{деление}$;

n - высота подъема столба масла, делений;

t - время подъема столба масла на n делений ($n=15$), с.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ! Не допускать поднятия столба выше второго фотоэлектрического датчика.

Так как $n = \text{const}$, $K_6 = \text{const}$, то для расчета быстроты действия удобнее пользоваться формулой

$$S_i = \frac{\text{const}}{P_i \cdot N} = \frac{9}{P_i \cdot N} \quad (3.5)$$

где N - число импульсов, зарегистрированных счетчиком.

Значение давления P_i в процессе измерения должно быть постоянным. В случае неустойчивых показаний вакуумметров необходимо усреднение трех - пяти отсчетов.

3.3.3. Измерение наибольшего рабочего давления обычно производится в ходе измерения быстроты действия насоса. Измерения производятся следующим образом. С помощью натекателя *ИФ1* увеличивается поток газа в

откачиваемый объем C .

Естественно, что при этом увеличивается давление на входе насоса, при котором возникает неустойчивость в работе, принимается за наибольшее рабочее. Неустойчивость работы насоса в самопроизвольном периодическом изменении давления на входе при неизменном потоке вводимого газа.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ! При проведении данного эксперимента очень легко привести насос к срыву его работы. Давление на входе насоса резко возрастает на два-три порядка и это приводит к выходу из строя манометрического преобразователя с горячим катодом ПМИ-2. Поэтому, как только возникает срыв, сразу же необходимо выключить накал преобразователя ПМИ-2 и уменьшить поток вводимого газа путем прикрытия натекателя $VF1$. После возобновления работы насоса Н-2Т (о чем можно судить по показаниям датчика $PT3$ на выходе насоса) при давлении на выходе насоса менее 13,3 Па можно вновь включить накал преобразователя ПМИ-2 и продолжить эксперимент.

3.3.4. Измерение наибольшего выпускного давления в зависимости от поставленной цели испытаний может производиться при различных давлениях на входе насоса. При этом за наибольшее выпускное давление принимается такое давление на выходе диффузионного насоса, при котором давление на входе насоса увеличится на 60% и более по сравнению с первоначально установленным.

Испытания проводятся следующим образом. Создается предельное давление в откачиваемом объеме C . Перекрывается клапан и снимается зависимость $P_{ex} = f(P_{вых})$, вплоть до момента срыва насоса. Зависимость представляется в графической форме и на ней отмечается наибольшее выпускное давление. Доведя насос до срыва, немедленно следует открыть клапан $VP2$. Помните предупреждение п.3.3.3.

3.3.5. Суммарный поток натекателя и газоотделения в откачиваемый объем C необходимо определять после достижения предельного давления. Для определения этого потока следует снять так называемую кривую натекания. Снятие кривой натекания проводится следующим образом. После достижения предельного давления перекрывается тарельчатый клапан $VT-1$ (затвор) и снимается зависимость $P_c = f(t)$.

При снятии этой зависимости информацию о давлении следует выводить на самописец ПС1-02. Снятие зависимости прекращается при возрастании давления до $6 \cdot 10^{-2}$ Па. Дойдя до этого давления, сразу же открыть клапан $VT1$ (во избежание выхода из строя манометрического преобразователя ПМИ-2 ($PA1$)).

Суммарный поток определяется по формуле:

$$Q_{\Sigma}' = V \cdot \frac{dPc}{dt}, \quad (3.6)$$

где Q_{Σ}' - суммарный поток газоотделения и натекания, $m^3 \cdot Pa/c$;
 V - объем рабочей камеры, m^3 ($0,12 m^3$).

3.3.6. Для запуска вакуумной системы установки необходимо придерживаться вполне определенной последовательности. Последовательность эта следующая. Проверяется положение всех клапанов системы. Все клапаны должны быть закрыты. Сетевые тумблеры всех электрических блоков установки должны находиться в положении ВЫКЛЮЧЕНО. Подается вода в систему охлаждения насоса Н-2Т. Установка подключается к электросети, при этом загорается лампа СЕТЬ. Включается механический насос *NL1* (2НВР-5ДМ) и проверяется его работоспособность с помощью манометрического блока ВТ-2П. При нормальной работе насоса (давление на входе его должно лежать в диапазоне 1-10 Па) открывается клапан *VII2*. Для этого ручку клапана повернуть против часовой стрелки и вытянуть на себя до отказа. При достижении в объеме насоса Н-2Т давления порядка 6-10 Па (контроль с помощью *PT1*) включается нагреватель диффузионного насоса. Одновременно с откачкой объема насоса Н-2Т может быть откачан объем камеры *C*, если начальное давление в ней не более 100-200 Па. Для параллельной откачки насоса и камеры должны быть открыты клапаны *VII2* и *VII3*. Если давление в рабочей камере много больше 200 Па, то до начала откачки объема насоса следует сначала откачать камеру до давления не более 50 Па (контроль с помощью преобразователя *PT2*), а затем перейти на параллельную откачку и после достижения в камере давления порядка 6-8 Па клапан *VII3* перекрывается.

Откачка рабочей камеры *C* установки механическим насосом *NL1* до возможно более низкого давления приносит только вред, так как в процессе откачки механическим насосом при давлении ниже 6-8 Па камера загрязняется парами масла из механического насоса. Диффузионный насос успешно может начать откачку с давлений 1-10 Па.

После выхода насоса Н-2Т на рабочий режим (давление на входе насоса станет меньше $1,3 \cdot 10^{-1}$ Па) открывается клапан *VI1* (клапан *VII3* должен быть закрыт). Когда давление на входе насоса вновь уменьшится до значений порядка $1,3 \cdot 10^{-1}$ - $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па, включается ионизационный вакуумметр ВИТ-1А или ВИТ-2.

Выключение установки производится в следующей последовательности. Выключаются ионизационные вакуумметры ВИТ-1А и ВИТ-2. Закрывается натекатель *VI1*, а затем затвор *VI1*. Выключается нагреватель диффузионного насоса. Для ускорения охлаждения насоса с него снимается нагреватель и включается вентилятор для обдува насоса воздухом. Нагреватель снимается лаборантом или преподавателем. Через 20 мин закрывается клапан *VII2* и выключается механический насос. После этого на вход насоса *NL1* (2НВР-5ДМ) напускается воздух через натекатель *VI1* с

электромеханическим приводом путем нажатия кнопки «НАТЕКАТЕЛЬ». Затем выключается все электрические блоки установки.

3.4. Содержание отчета

3.4.1. В отчете представляется задание и материалы, подтверждающие его выполнение.

3.4.2. Графические материалы должны содержать схему установки с назначением всех элементов и их основными характеристиками, экспериментальные зависимости и их сравнение с теоретическими и расчетными. Варианты вакуумных вводов и соединений.

3.4.3. Расчетные материалы должны содержать расчет проводимости трассы, расчет скорости откачки объема, расчет времени откачки, расчет газовыделений с поверхности элементов системы, расчет потока из измерений изменения давления во времени, расчет согласования откачных средств.

3.4.4. Пояснительные записи должны содержать алгоритм включения и выключения установки, основной перечень аварийных ситуаций и методов их устранения.

3.4.5. Вывода по работе, включая сведения по диапазону работы датчиков, насосов.

3.4.6. Список использованной литературы.

3.4.7. Приложения могут содержать распечатку расчетов и графиков на ЭВМ, но обязательно иметь промежуточные и заключительные комментарии.

Список рекомендуемой 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. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. – М.: Высшая школа, 1990. – 207 с.
5. Королев Б.И. и др. Основы вакуумной техники. – М: Энергия, 1975. – 416 с.
6. Пипко А.И и др. Конструирование и расчет вакуумных систем. – М: Энергия, 1979. – 504 с.

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Исследование масляных средств откачки

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