

ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМА

Лабораторный практикум для бакалавров
по курсу
КИНЕТИКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ
направления - 14.03.02 Ядерная физика и технологии
7 семестр

Лабораторная работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВАКУУМНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАСОСОВ С МАСЛЯНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

Цель работы - ознакомиться с устройством и работой вакуумных механических насосов с масляным уплотнением.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Откачкой называется процесс удаления газов из герметичного объема с помощью вакуумных насосов. Совокупность элементов (трубы, шланги, насосы, краны), используемых при откачке газа из герметичного объема, называется вакуумной системой.

Вакуумные насосы по назначению подразделяются на сверхвысоковакуумные, высоковакуумные, средневакуумные и низковакуумные, а в зависимости от принципа действия – на механические и физико-химические.

Среди механических вакуумных насосов можно выделить объемные и молекулярные. Объемные насосы осуществляют откачку за счет периодического изменения объема рабочей камеры. Имеется несколько конструктивных вариантов таких насосов: поршневой, жидкостно-кольцевой, ротационный.

В процессе объемной откачки выполняются основные операции:

- 1) всасывание газа за счет расширения рабочей камеры насоса;
- 2) уменьшение объема рабочей камеры и сжатие газа;
- 3) удаление сжатого газа из рабочей камеры в атмосферу или насос предварительного разрежения.

Вращательные пластинчатые насосы свое название получили из-за наличия в их конструкции пластин, которые в одном типе насосов вращаются вместе с ротором (пластинчато-роторные), а в другом - расположены в статоре (пластинчато-статорные насосы).

Широкое распространение в вакуумной технике получили ротационные вакуумные насосы для предварительного разрежения в высоковакуумных и сверхвысоковакуумных системах. Они находят и самостоятельное применение для откачки неагрессивных газов и паро-газовых смесей.

Пластинчато-роторный насос состоит из цилиндрического ротора 2, ось вращения которого расположена эксцентрически относительно оси статора 1 так, что ротор и статор касаются друг друга в верхней точке по образующей (рис. 7.1). Ротор по диаметру имеет прорезь (проем), в которую помещены две пластины 6 и 7, прижимаемые к цилиндрической поверхности статора пружиной 8. В корпусе статора имеются входное отверстие 11 и выпускной канал, в котором смонтирован клапан 9. Ротор, статор и пластины формируют три объема 3, 4, 5. Объем 3, расположенный со стороны входного отверстия, называется полостью впуска; объем 4, отделенный пластинами от входного и выходного отверстий - полостью переноса и объем 5 - полостью выпуска.

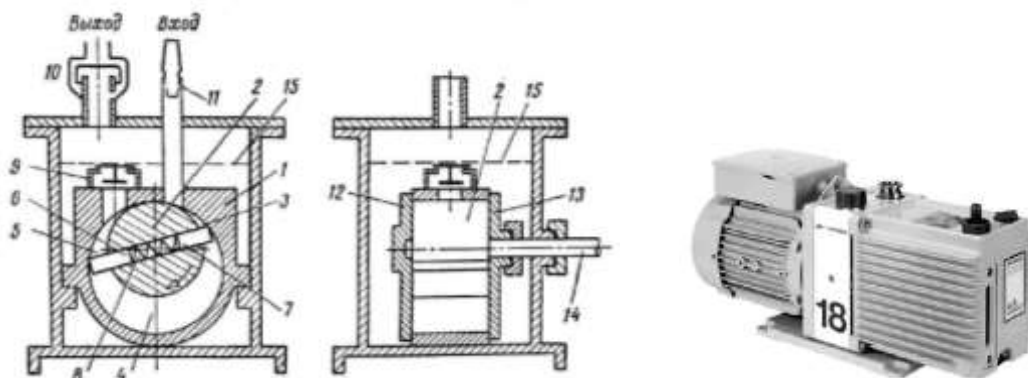


Рис. 7.1. Схема и изображение пластинчато-роторного насоса

При вращении роторов в направлении, указанном стрелкой, объем полости 3 увеличивается и происходит всасывание газа, а полость выпуска уменьшается, что приводит к сжатию газа и выталкиванию его наружу. После того как пластина 6 пройдет выпускное отверстие, полость переноса становится полостью выпуска, а всасывание еще продолжается. Когда же пластина 6 пройдет общую образующую и выходное отверстие, полость всасывания переходит в полость переноса и процесс начинается заново.

Объемы, расположенные между общей образующей и отверстиями в статоре, являются «вредными» пространствами. Вредность пространства у выходного отверстия заключается в том, что в нем газ сильно сжат, в то время как в полости всасывания создается разрежение, в результате чего возможен прорыв газа в откачиваемую систему.

Трущиеся поверхности пластинчатых насосов должны быть хорошо обработаны и нуждаются в постоянной смазке. Смазка, кроме того, служит для заполнения пространства 5 в конце сжатия. Это необходимо для открытия выпускного клапана, когда вакуум, создаваемый насосом, приближается к предельному и давление сжатого газа недостаточно для открытия выхлопного канала.

Предельное давление, создаваемое пластинчато-роторными насосами, зависит от величины вредного пространства, качества обработки поверхностей, их смазки и используемого масла. Обычно для одной ступени предельный вакуум достигает значения 10^{-1} - 10^{-2} мм рт. ст.

Пластинчато-статорный насос состоит из следующих основных элементов: корпуса, эксцентричного ротора, выпускного патрубка, пластины, пружины, входного патрубка (рис. 7.2). Рабочее пространство насоса образуется между эксцентрично установленным ротором и корпусом насоса. Рабочие камеры всасывания и сжатия разделяются между собой подвижной статорной пластиной, постоянно прижимаемой к поверхности эксцентрика пружиной. При вращении эксцентрика объем камеры всасывания увеличивается и в нее через входной патрубок засасывается газ из откачиваемого объекта.

Объем камеры сжатия в это время уменьшается, а находящийся в ней газ сжимается и выталкивается через выхлопной клапан в окружающую ат-

мосферу. Для обеспечения смазки трущихся деталей и уплотнения мест разделения рабочих камер насос помещают в масляную ванну. По сравнению с пластинчато-роторными насосами статорные насосы имеют меньшее число трущихся поверхностей в рабочем пространстве, меньший объем вредного пространства и поэтому обеспечивают получение меньших предельных давлений.

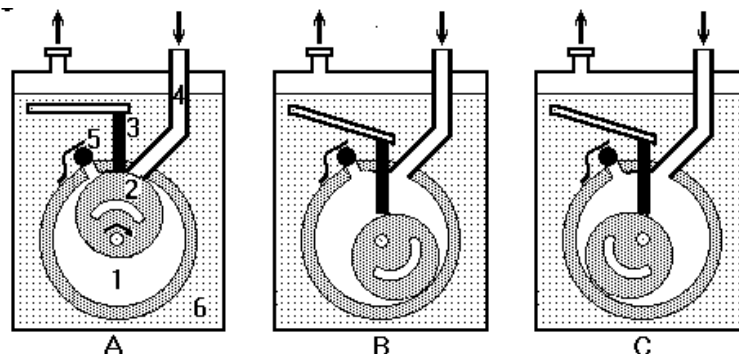


Рис. 7.2. Схема пластинчато-статорного механического насоса

К основным преимуществам пластинчато-статорных насосов относятся малый объем вредного пространства у выходного отверстия и меньшее количество таких мест внутри насоса, через которые газ может просачиваться в откачиваемую систему.

Рабочая полость насоса представляет собой цилиндрическую камеру 1, в которой вращается ротор 2, расположенный эксцентрично по отношению к оси своего вращения. В роторе имеются полости для смещения центра тяжести к оси вращения. Пластина 3 скользит вдоль прорези в стенке камеры и при этом плотно прижимается к внешней поверхности ротора пружиной. Газ всасывается через впускное отверстие 4 и выталкивается через клапан 5, состоящий из шарика, прижатого пружиной, в масло 6, которым залита коробка насоса.

Процесс откачки происходит следующим образом. Положение А - ротор находится в исходном состоянии. Положение В - ротор подвинулся вниз, и в камере создается разрежение со стороны впускного отверстия. Через это отверстие газ поступает из откачиваемой системы. Одновременно происходит сжатие газа в сторону выпускного клапана. Положение С - происходит дальнейшее всасывание газа из вакуумной системы и выход сжатого газа через выпускной клапан. У одноступенчатых насосов полное остаточное давление зависит от состава и состояния масла и достигает $(1 - 5) \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст.

Характеристики некоторых ротационных вакуумных насосов, выпускаемых промышленностью, приведены в таблице 7.1.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания к лабораторной работе.
2. Разобрать механический форвакуумный насос
3. Изучить функциональное назначение основных деталей.

4. Начертить эскизы функциональных деталей в рабочую тетрадь.
5. Собрать механический форвакуумный насос.
6. Составить отчет о проделанной работе.

Таблица 7.1.

Характеристики ротационных вакуумных насосов

Основные характеристики	Поршневые		Пластинчато-роторные		Золотниковые	
	ЗВНПЗ	2ДВНП-6	ЗВНР-1Д	2НВР-5ДМ	АВЗ-20Д	АВЗ-63Д
Диапазон рабочих давлений, Па	$2 \cdot 10^3 - 10^5$	$2 \cdot 10^2 - 10^5$	$0,4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-2} - 10^5$	$5 \cdot 10^{-2} - 10^5$	$4 \cdot 10^{-2} - 10^5$
$\rho_n, \text{м}^3/\text{с}$	0,063	0,105	0,001	0,005	0,02	0,063
$P_{пр}, \text{Па}$	400	40	0,1	0,7	7	0,07
Кол-во масла, дм^3	—	—	0,5	1,2	3,5	10
Мощность дв-ля	5,5	11	0,25	0,55	2,2	7,5
Масса, кг	750	1500	9,5	30	185	620

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Назначение масла в механических форвакуумных насосах.
2. Требования к маслам для механических вакуумных насосов?
3. Последствия попадания паров воды в форвакуумный насос.
4. Принцип действия статорного насоса.
5. Чем ограничен предельный вакуум механических насосов?

Лабораторная работа № 8.

ПОЛУЧЕНИЕ ВАКУУМА С ПОМОЩЬЮ ФОРВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Цель работы: ознакомиться с устройством и работой вакуумных механических насосов с масляным уплотнением. Получить практические навыки работы с вакуумными насосами.

Схема лабораторной установки

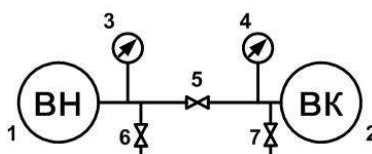


Рис. 8.1. Схема лабораторной установки.

1 - вакуумный насос, 2 - вакуумная камера, 3, 4 - вакуумметр, 5 - вакуумный вентиль, 6, 7 - натекатели

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с инструкцией вакуумного насоса.
2. Разобрать учебный макет вакуумного насоса. Обратит внимание на конструкцию пластинчатого устройства и выхлопного клапана, состояние поверхностей конструктивных элементов насоса.
3. На макете при закрытом вентиле 5 включить механический насос. Визуально и на слух убедиться в его нормальной работе.
4. Включить вакуумметр на манометр 3 и наблюдать за вакуумом.
5. Открыть вакуумный вентиль 5 и убедиться с помощью манометра 4 в улучшении вакуума в объеме рабочей камеры.
6. Закрыть вентиль 5. При помощи натекателя 7 напустить воздух в рабочий объем. Закрыть натекатель 7.
7. Открыть вентиль 5 и фиксировать изменения показателя вакуумметра 4 во времени до тех пор, пока не установится рабочий вакуум.
8. Определить наименьшее рабочее давление в рабочем объеме 2. При работе насоса в режиме «сам на себя» с закрытым вентилем 5 определить показание вакуумметра 3. Сравнить показатели.
9. Выключить установку в следующей последовательности:
 - закрыть вентиль 5;
 - выключить вакуумметр;
 - выключить форвакуумный насос 1;
 - открыть натекатель 6.
10. Построить график $P = f(t)$ зависимости изменения давления от времени с момента включения форвакуумного насоса до достижения предельного давления.
11. Составить отчет по проделанной работе.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Принципиальную схему вакуумной установки.
2. Краткое описание конструкции и принципа действия используемого в установке форвакуумного насоса.
3. Экспериментальные данные в виде таблиц и графиков.
4. Выводы по результатам работы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Требования к маслам для механических вакуумных насосов?
2. Масла для механических форвакуумных насосов.
3. Последствия попадания паров воды в форвакуумный насос.
4. Принцип действия пластинчато-роторного насоса.
5. Принцип действия статорного насоса.
6. Принцип действия плунжерного (золотникового) насоса.

7. Назначение газобалластных насосов.
8. Порядок включения вакуумной системы.
9. Основные характеристики вращательных механических насосов с масляным уплотнением.
10. Чем ограничен предельный вакуум механических насосов?
11. Преимущества форвакуумных двухступенчатых насосов.
12. Принцип действия двухроторных насосов.

Лабораторная работа № 9. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВАКУУМНЫХ ПАРОМАСЛЯНЫХ НАСОСОВ

Цель работы: изучение конструкции вакуумного паромасляного (диффузионного) насоса.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Молекулярные насосы передают молекулам газа направленную скорость (количества движения) от твердой, жидкой или парообразной движущейся поверхности. Различают:

- водоструйные (эжекторные);
- диффузионные;
- молекулярные (с одинаковым направлением движения откачивающей поверхности и молекул газа);
- турбомолекулярные (со взаимно перпендикулярным движением твердых поверхностей и откачиваемых молекул).

Откачивающее действие диффузионных вакуумных насосов основано на использовании в качестве откачивающего элемента высокоскоростной паровой струи натуральных и синтетических вакуумных масел. На дне металлического сосуда находится масло, испарение которой обеспечивается электрическим нагревателем.

Верхний фланец насоса присоединяется к откачиваемому объему, а его выхлопной патрубок – ко входу форвакуумного насоса. После того как форвакуумный насос создал необходимое давление в насосе и откачиваемом объеме, включают нагреватель и жидкость начинает испаряться. Поток пара поднимается по трубе, помещенной над жидкостью, с большой скоростью вырывается из сопла на конце трубы. Пар конденсируется на охлаждаемых стенках и стекает на дно сосуда. Нагреватель и холодильник обеспечивают непрерывную циркуляцию пара.

Молекулы откачиваемого газа увлекаются струей пара, формируемого соплом, переносятся в нижнюю часть насоса, где отделяются от масла и через выходной патрубок удаляются форвакуумным насосом. Струя пара передает часть своего импульса (количества движения) молекулам откачиваемого

газа и направляет их вниз к выхлопному фланцу. Давление газа на выходе диффузионного насоса равно давлению, создаваемому форвакуумным насосом.

Конструкция четырехступенчатого пароструйного диффузионного насоса показана на рис. 9.1. Конструкции паромасляных диффузионных насосов имеют ряд особенностей, связанных с использованием в качестве рабочей жидкости масла. Это прежде всего устройства обеспечивающие фракционирование (разделение на фракции) неоднородных масел. Тяжелые фракции (с низким давлением насыщающего пара направляются в сопло первой (высоковакуумной) ступени, им обеспечивается низкое предельное остаточное давление и высокое быстродействие насоса в целом. Легкие фракции (с высоким давлением насыщающего пара) направляются в сопло последней ступени, обеспечивая высокое выпускное давление.

Фракционирование масла, стекающего в нагреватель по стенкам корпуса, происходит в лабиринтных кольцах, удлиняющих путь масла до центра нагревателя. Легкие фракции испаряются на периферии, а более тяжелые в центре - через сопло первой ступени. Процесс фракционирования и содержание газа в масле в значительной мере определяют предельное остаточное давление пароструйного диффузионного насоса.

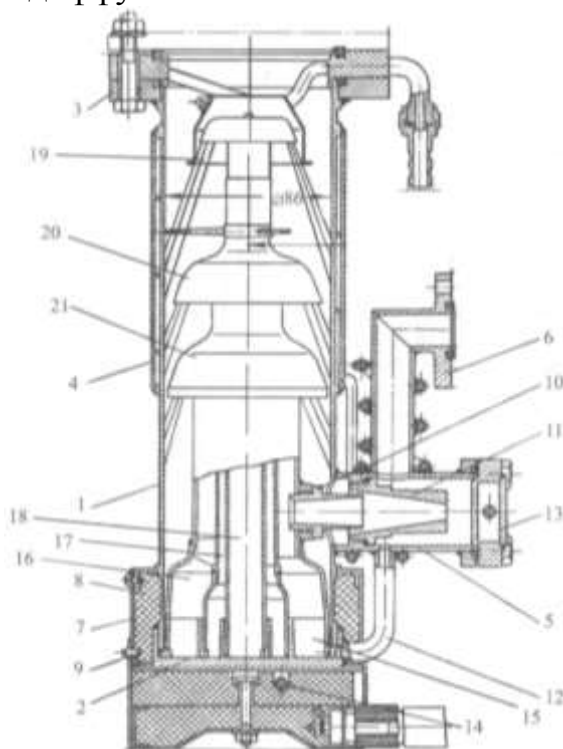


Рис. 9.1. Конструкция пароструйного диффузионного насоса

1 – корпус, 2 – днище, 3 - входной фланец, 4 - рубашка охлаждения, 5 – патрубок, 6 - выходной фланец, 7 – кожух, 8 - асбестовая вата, 9 – штырь, 10 – эжекторное сопло, 11 – диффузор, 12 – трубка, 13 – заглушка, 14 – нагреватель, 15 – кипя- тильник, 16, 17, 18 – паропроводы, 19, 20, 21 – сопла первой, второй и третьей ступени соответственно.

При рабочих давлениях диффузионных насосов, длина свободного пробега молекул откачиваемого газа практически всегда больше диаметра впускного отверстия насоса. При тепловом движении молекулы газа направляются к паровой струе. Процесс удаления газа в диффузионных насосах обусловлен диффузионными процессами. Под действием разности концентраций газа над паровой струей и в струе (концентрация газа в струе вблизи сопла пренебрежительно мала) происходит диффузия газа в струю. Попав в струю, молекулы газа получают импульсы от молекул пара в направлении парового потока и уносятся вместе со струей к охлаждаемой стенке корпуса насоса. При этом пар конденсируется, а газ, сжатый в струе до выпускного давления ступени перетекает вдоль стенки в пространство над следующей ступенью насоса. Наряду с прямой диффузией газа происходит и обратная диффузия. При оптимальных режимах работы насоса обратная диффузия мала. При откачке легких газов обратная диффузия существенно влияет на характеристики насоса.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания к лабораторной работе.
2. Разобрать пароструйный насос.
3. Изучить функциональное назначение основных деталей.
4. Начертить эскизы функциональных деталей в рабочую тетрадь.
5. Собрать пароструйный насос.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Назначение масла в паромасляных насосах.
2. Требования к маслам для вакуумных насосов?
3. Последствия попадания паров воды в форвакуумный насос.
4. Принцип действия паромасляного насоса.
5. Чем ограничен предельный вакуум паромасляных насосов?

Лабораторная работа № 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОВАКУУМНОГО ДИФФУЗИОННОГО ПАРОМАСЛЯНОГО НАСОСА

Цель работы: Изучение устройства и принципа работы высоковакуумного диффузионного паромасляного насоса. Освоение методов работы с вакуумной аппаратурой.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Откачка диффузионных вакуумных насосов основано на использовании в качестве откачивающего элемента сверхзвуковой паровой струи натураль-

ных и синтетических вакуумных масел (рис. 10.1). Пар поднимается по трубе, с большой скоростью выбрасывается из сопла, которым заканчивается труба. Пар конденсируется на охлаждаемых стенках и стекает вниз на дно сосуда. Нагреватель и холодильник обеспечивают непрерывную циркуляцию пара.

Молекулы откачиваемого газа увлекаются струей пара, выбрасываемого из сопла, переносятся в нижнюю часть насоса, где отделяются от масла и через патрубок удаляются форвакуумным насосом в атмосферу. Основная роль струи пара сводится к передаче части своего импульса молекулам откачиваемого газа и направлению их вниз к выхлопному фланцу. Давление газа на выходе высоковакуумного насоса равно давлению, создаваемому форвакуумным насосом.

Предельным вакуумом насоса $P_{пред}$ называется самое низкое давление, которое может обеспечить насос при работе "на себя", т.е. с закрытым входным патрубком. Величина $P_{пред}$ определяется равновесием откачиваемого потока газа и обратного потока.

Обратный поток связан с противодиффузией откачиваемого газа из области (б) в область (а) паром рабочей жидкости, выносом откачиваемых газов со струей пара, и газовой выделением стенок насоса. Противодиффузия газа через паровую струю зависит от перепада давлений над струей и под ней, плотности $\rho_{п}$ и скорости $v_{п}$ паровой струи, а также от молекулярной массы газа. Противодиффузия пропорциональна перепаду давлений и обратно пропорциональна $\rho_{п}$, $v_{п}$ и молекулярной массе откачиваемого газа.

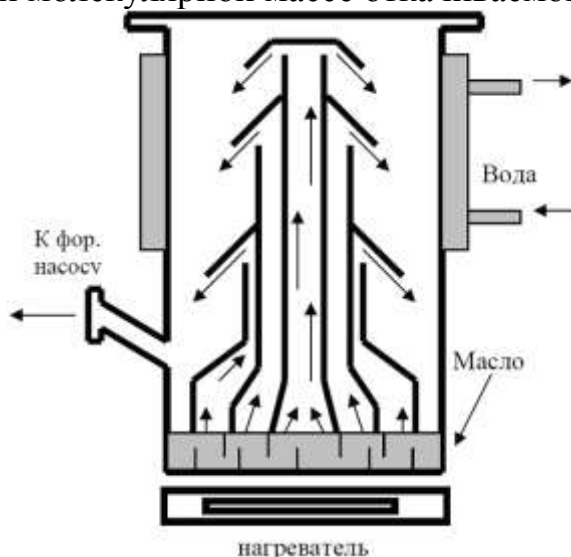


Рис. 10.1. Принципиальная схема паромасляного диффузионного насоса

Давление насыщенного пара рабочей жидкости насоса обычно на несколько порядков ниже реально достигаемого $P_{пред}$. Однако вакуумные масла, используемые в качестве рабочей жидкости, при работе могут подвергаться разделению на фракции с различной упругостью пара. Поэтому при оценке влияния на $P_{пред}$ следует рассматривать не упругость пара масла, заливаемого в насос, а упругость фракций масла.

При конденсации паровой струи на стенках насоса происходит частичное растворение газа в конденсате. Попавший вместе с конденсатом в нагреватель, газ затем увлекается паром к соплу и выделяется из паровой струи в откачиваемый объем.

Величина $P_{пред}$ зависит также и от мощности подогрева W , так как от нее зависят параметры паровой струи, определяющие величину противодиффузии. Вначале с увеличением W растут плотность и скорость паровой струи и уменьшается противодиффузия, растет температура конденсата и уменьшается растворимость газа в нем и $P_{пред}$ в целом понижается. С увеличением степени термического разложения масла возрастает количество легких фракций масла и $P_{пред}$ начинает повышаться. Поэтому зависимость $P_{пред}(W)$ имеет минимум, соответствующий оптимальной мощности подогрева $W_{опт}$.

Производительностью насоса (Q_n) называется количество газа, удаляемого насосом в единицу времени через входной патрубок при данном впускном давлении. Q_n измеряется в $\text{м}^3 \text{Па/с}$. Эффективная производительность Q_0 равна разности откачиваемого насосом прямого потока газа и обратного потока молекул:

$$Q_0 = Q_n - Q_{обр}. \quad (10.1)$$

При $Q_n = Q_{обр}$ достигается $P_{пред}$ и Q_0 обращается в нуль. Зависимость $Q_n(P_{вп})$ в области рабочих давлений линейная.

Быстротой откачки во входном сечении насоса или его быстротой действия S_n называется объем газа, удаляемый насосом в единицу времени через входной патрубок при впускном давлении $P_{вп}$ ($\text{м}^3/\text{с}$).

Откачиваемый насосом поток газа связан с S и $P_{вп}$ соотношением:

$$Q_n = S_n P_{вп}. \quad (10.2)$$

Эффективная быстрота откачки S_0 всегда меньше номинальной быстроты действия S_n . Представив (10.1) с учетом (10.2) в виде:

$$S_0 P_{вп} = S_n P_{вп} - S_{нас} P_{вп}, \quad (10.3)$$

получим:

$$S_0 = S_n (1 - P_{пред} / P_{вп}). \quad (10.4)$$

При увеличении $P_{вып}$ до максимального значения происходит срыв (заворачивание) струи пара со стенки насоса, сопровождающийся перетоком газа из форвакуумной области в область высокого вакуума. При этом S_0 уменьшается, а величина впускного давления возрастает.

Наибольшее выпускное давление $P_{вып.макс}$ - наибольшее значение давления на стороне предварительного разрежения, превышение которого приводит к ухудшению характеристик насоса. С ростом $P_{вып}$ значение $P_{вп}$ не претерпевает изменений, а затем, при достижении $P_{вып.макс}$ оно начинает увеличиваться до тех пор, пока оба этих давления (на входе и на выходе насоса) не сравняются. Так как рост $P_{вп}$ при $P_{вып}$ больших чем $P_{вып.макс}$ обусловлен срывом струи, то с увеличением мощности нагревателя величина $P_{вып.макс}$ увеличивается.

Значение $P_{\text{вып.макс}}$ определяется либо при предельном давлении, если насос предназначен для откачки системы до возможно низкого давления, либо при давлении соответствующем максимальному потоку нагрузки, если насос предназначен для поддержания низкого давления в системе при удалении большого количества газа.

Для высоковакуумных насосов $P_{\text{вп}}$ на горизонтальном участке зависимости $P_{\text{вп}}(P_{\text{вып}})$ должно возрасти с ростом $P_{\text{вып}}$ из-за обратной диффузии. Но заметно это становится только для лёгких газов, где горизонтальный участок может вообще отсутствовать.

Значение $P_{\text{вып.макс}}$ высоковакуумных насосов для большинства современных конструкций пароструйных насосов составляет 2-20 Па.

Давление в вакуумной системе изменяется путем регулировки потока натекания Q_i через натекатель VF2 ($P_i = Q_i / S_i$), измеряется вакуумметром и откладывается по оси абсцисс.

Возможны два источника потока натекания:

- атмосферный воздух при открытом кране ВП - используется при выборе давления P_i в системе;
- воздух, находящийся в бюретке при атмосферном давлении, при закрытом кране ВП - используется при определении Q_i (количество газа ограничено объемом бюретки - ограничено время его использования).

Скорость откачки S при известном давлении в системе ($P_{\text{вп}}$) может быть определена из $S_i = Q_i / P_i$, где Q_i определяется как отношение количества газа $\Delta[(P_{\text{атм}} \cdot V_0)]_i$, откаченного вакуумной системой из бюретки через натекатель за время Δt_i .

При откачке газа из бюретки происходит подъем масла в ней, так как давление в ней уменьшается на величину:

$$\Delta P = h \rho_{\text{масла}} / h \rho_{\text{Hg}}, \quad (10.5)$$

где h - высота подъема масла.

Одновременно уменьшается объем газа в бюретке на величину:

$$\Delta V = h \pi d^2 / 4, \quad (10.6)$$

где d - внутренний диаметр бюретки.

Таким образом, откаченное за время Δt количество газа в случае подъема масла на высоту h составляет:

$$\Delta(P_{\text{атм}} \cdot V_0) = V_0 \Delta p + P_{\text{атм}} \Delta V = h(V_0 \cdot \rho_{\text{масла}} / \rho_{\text{Hg}} + P_{\text{атм}} \pi d^2 / 4). \quad (10.7)$$

Выражение в скобках представляет собой постоянную величину, называемую постоянной бюретки K_{δ} . Тогда скорость откачки равна:

$$S_i = K_{\delta} \cdot h_i / P_i \Delta t_i, \quad (10.8)$$

где K_{δ} равно 1,33 л*Па/мм.

Описание лабораторной установки

Лабораторный стенд, принципиальная схема которого приведена на рис. 10.2, содержит: узел измерения быстроты действия насоса методом по-

стоянного давления А1, диффузионный насос ND1, ловушка BL1, вентиля-
натекатели VF1 и VF2, вентили электромеханические VA1, VA2, VA3, VA4,
вентиль ручной VП, вакуумная камера CV, тепловые манометры PT1, PT2,
манометр магнитный электроразрядный РМ.

Паромасляный насос (ND1) подключен к вакуумной камере (CV). Пред-
варительная и вспомогательная откачка осуществляются с помощью форва-
куумной системы (ФС). Линия байпасной откачки (вентиль VA2) позволяет
ускорить получение предварительного разрежения в исследуемой вакуумной
системе. Бюретка используется при измерении S насоса методом постоянно-
го давления.

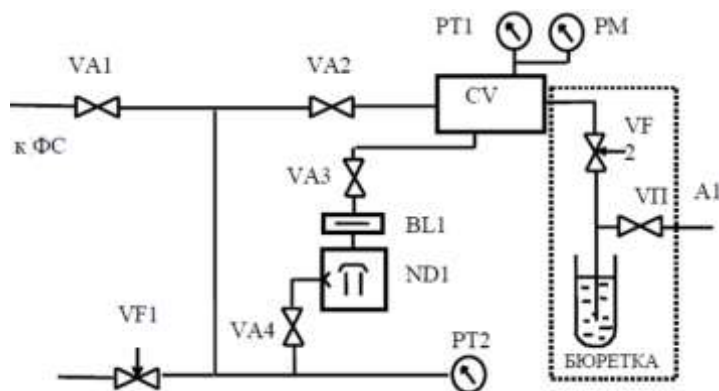


Рис. 10.2. Установка для исследования характеристик насосов

Натекатель VF1 позволяет изменять давление на выходе диффузионного
насоса. Давление в системе контролируется с помощью двух тепловых ма-
нометров PT1, PT2 и магниторазрядного манометра РМ. Натекатель VF2
служит для измерения давления в вакуумной камере CV. Кран VП соединяет
вакуумную камеру с атмосферой либо бюреткой.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить питание на стенде, включить водяное охлаждение насоса,
включить тепловые манометры на самой грубой шкале.

2. Провести предварительную откачку с помощью ФС, постепенно пе-
рекючая манометры на более чувствительные шкалы, до 1 - 5 Па.

3. После получения предельного давления (2-5 Па), открыть вентиль
VA4. Зафиксировав начальное давление, зарегистрировать кривую предвари-
тельной откачки $P(t)$ (давление измеряется манометром PT2). Записать дан-
ные в таблицу 10.1.

4. Включить питание диффузионного насоса ND1. Прогрев будет длить-
ся 35 - 40 мин. Отмечать зависимость давления от времени по тепловому и
магниторазрядному манометрам в таблицу 10.2.

5. По измеренным данным построить график откачки рабочей камеры на
высокий вакуум $P(t)$.

Таблица 10.1 Результаты откачки на форвакуум

время												
PT1, дел.												
Па												
PT2, дел.												
Па												

6. Определение характеристики $S(P_{\text{вп}})$ методом постоянного давления. Для этой характеристики необходимо изменять величину давления в системе $P_{\text{вп}}$ и определять скорость откачки S .

Таблица 10.2 Результаты откачки на высокий вакуум

время												
PT1, дел.												
Па												
PM, дел.												
Па												

6.1. Включить подсветку шкалы бюретки, кран VII открыт.

6.2. Придерживая медную трубку натекателя, открывать вентиль-натекатель VF2 и установить давление в объеме на уровне 90 делений по магнитному манометру.

6.3. Закрывать кран VII и определить время подъема масла в бюретке на высоту 10 см. Открыть кран VII и опустить масло на исходный уровень.

6.4. Повторить измерения n раз, рассчитать среднее значение.

6.5. Прodelать предыдущие 2 пункта для значений давления в объеме, соответствующих 85, 80 и 75 делениям на магнитоизрядном манометре. Записать зависимость времени подъема масла в бюретке на высоту 10 см, от давления в таблицу 10.3. Рассчитать скорости откачки.

Таблица 10.3 Результаты измерений

PM	1			2			3			4		
H , мм												
T , с												
s , м ³ /с												

6.6. По полученным данным построить зависимость $S_0(P)$.

7. Определение характеристики $P_{\text{вп}}(P_{\text{вып}})$

7.1. Закрывать натекаТЕЛЬ VF2, получить давление $P_{\text{пред}}$.

7.2. Открывая вентиль-натекатель VF1 на установке с обратной стороны стенда, увеличивать $P_{\text{вып}}$, контролируя его по тепловому манометру, до тех пор пока не начнет увеличиваться $P_{\text{вп}}$ (не более, чем на 50%), контроли-

руемое по магниторазрядному манометру. Значение $P_{\text{вып. макс}}$ зафиксировать. Результаты измерений занести в таблицу 10.4.

Таблица 10.4. Результаты измерений

PT2, дел.												
Па												
PM, дел.												
Па												

8. Закрывать вентиль-натекатель VF1, проверить закрыт ли вентиль-натекатель VF2, (кран VII открыт).

9. Выключить питание диффузионного насоса, через 30-40 мин после выключения диффузионного насоса закрыть VA4.

10. Выключить стенд, выключить водяное охлаждение.

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) принципиальную схему использованной вакуумной системы;
- 2) таблицы экспериментальных данных;
- 3) графики зависимостей $P(t)$;
- 4) график зависимости $S(P_{\text{вп}})$;
- 5) график зависимости $P_{\text{вп}}(P_{\text{вып}})$;
- 6) значения: $P_{\text{пред}}$, $Q_{\text{нас. макс}}$, $S_{0, \text{ макс}}$, $P_{\text{вып. макс}}$, с расчетными экспериментальными погрешностями.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ

1. На чем основано действие диффузионных вакуумных насосов?
2. Чем определяется величина предельного вакуума насоса?
3. Что такое оптимальная мощность подогрева?
4. Какими процессами объясняется ход зависимости $S(P_{\text{вп}})$?
5. Как зависит быстрота откачки от рода газа?
6. Что называется наибольшим выпускным давлением насоса?
7. Чем определяется величина наибольшего выпускного давления?
8. Как мощность нагрева влияет на рабочие характеристики насоса?

Лабораторная работа № 11.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРОТЫ ДЕЙСТВИЯ ФОРВАКУУМНОГО НАСОСА МЕТОДОМ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА

Цель работы: Определение быстроты действия механического форвакуумного насоса методом постоянного объема.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим теоретический насос, у которого быстрота действия не зависит от давления. Пусть за малый промежуток времени dt из объема V в рабочую камеру насоса перейдет элементарный объем газа dV_n , а давление уменьшится на величину dP . Поскольку температура всей системы остается неизменной, то из закона Бойля-Мариотта, получаем:

$$PdV_n = VdP, \quad (11.1)$$

которое может быть преобразовано к виду:

$$\frac{dV_n}{dt} dt = V \frac{dP}{P}. \quad (11.2)$$

Т.к. $\frac{dV_n}{dt} = -S_n$, то уравнение (11.2) можно переписать:

$$\frac{dP}{P} = -\left(\frac{S_n}{V}\right) dt. \quad (11.3)$$

Воспользовавшись далее условием $S_n = const$ (теоретический насос) и проинтегрировав уравнение (11.3), получим:

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{S_n}{V} d\tau\right), \quad (11.4)$$

где P_0 - давление в откачиваемом объеме при $t = 0$ (начало работы).

Из уравнения (11.4) следует, что при откачке насосом с постоянной быстротой действия изменение давления в исследуемом объеме выражается экспоненциальной зависимостью (рис. 11.1).

Для определения быстроты действия теоретического насоса (БДН) необходимо определить момент времени t_1 , которому соответствует давление P_1 . Тогда для объема V с начальным давлением P_0 :

$$S_n = \frac{V}{t} \ln \frac{P_0}{P_1}. \quad (11.5)$$

Однако быстрота действия реальных насосов является функцией давления. В ограниченном интервале давления, протяженность которого зависит от типа выбранного насоса, БДН является постоянной.

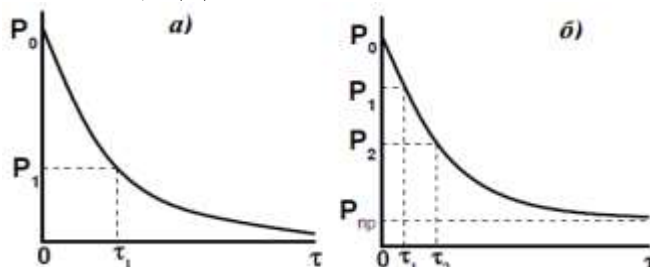


Рис. 11.1. Зависимость $P = f(t)$ насосов. а – теоретический, б - реальный

Вторая особенность вакуумных насосов состоит в том, что при предельном входном давлении быстрота действия уменьшатся до нуля. Это объясняется наличием механических дефектов конструкции (негерметичность, вред-

ные пространства - полости, расположенные вблизи впускного и выпускного отверстий, из которых газ при откачке не удаляется) и наличием в насосе паров рабочих жидкостей и смазок.

Если моментам времени t_1 и t_2 давления равны P_1 и P_2 , то среднюю быстроту действия насоса в интервале $t_1 \div t_2$ вычисляют по формуле:

$$S_n = \frac{V}{\tau_2 - \tau_1} \ln \frac{(P_1 - P_{np})}{(P_2 - P_{np})}, \quad (11.6)$$

где P_{np} - предельное давление насоса.

Определение быстроты действия насоса по формуле (11.6) называется **методом постоянного объема** сводится к регистрации экспериментальных зависимостей $P = f(t)$. Для этого откачиваемый объем с манометром присоединяют непосредственно к входному патрубку насоса без промежуточных трубопроводов.

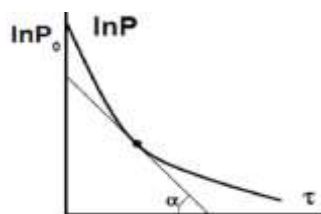


Рис. 11.2. Зависимость $\ln P = f(t)$ для реального насоса

Метод постоянного объема пригоден для определения быстроты действия насосов малой производительностью.

Так как S_n изменяется с изменением P , то наиболее удобно определять величины S_n из графика зависимости $\ln P = f(t)$ путем определения тангенса угла наклона касательной к полученной кривой (рис. 11.2):

$$S_n = -V \frac{d(\ln P)}{dt}, \quad (11.7)$$

где $d(\ln P) / dt = \operatorname{tg} \alpha$ - производная функции $\ln P = f(t)$, которую определяют графическим путем.

Найденная таким образом величина S_n называется **дифференциальной быстротой действия** и характеризует производительность вакуумного насоса в любой момент времени.

Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки показана на рис. 11.3. Механический насос 1 откачивает вакуумируемый объем 2. Кран 6 служит для напуска атмосферного воздуха в механический насос после его остановки. Величина давления в откачиваемом объеме 2 (10 л) измеряется вакуумметром 4. Кран 7 напускает атмосферный воздух в объем 2. Кран 5 служит для отсечения откачиваемого объема от механического насоса.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания по лабораторной работе.
2. Перед началом работы натекатели 5 и 6 открыть; кран 4 закрыть.
3. Закрыть натекатели 5 и 6 и откачивать рабочий объем. Для получения кривой откачки вакуумного объема одновременно с запуском электродвигателя насоса включить секундомер. Далее регистрировать время достижения определенных значений давления.

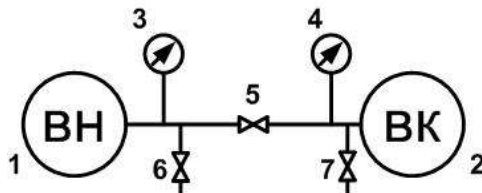


Рис. 11.3. Схема для определения БДН методом постоянного объема.

4. Когда давление в системе перестанет уменьшаться, записать предельное давление $P_{пр}$ вакуумной системе.
5. Результаты измерений занести в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 *Результаты измерений*

показания вакуумметра						термопарного
деления шкалы	0	0,1	...	0,8	0,9	
время, с						

При использовании термопарного вакуумметра давление находят по калибровочным графикам (для ПМТ-2).

6. По кривой откачки, при использовании формулы:

$$S_{H_i} = \frac{V}{t_i} \ln \frac{P_0}{P_i}, \quad (11.8)$$

определить S_H и построить график зависимости $S_H = f(P)$. При расчетах сопротивлением трубопровода от объема 2 к манометрам пренебречь.

7. Составить отчет по проделанной работе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Сущность метода постоянного объема определения БДН.
2. БДН теоретическая и действительная.
3. Производительность вакуумного насоса.
4. Остаточное (предельное) давление насоса (вакуумной системы).

Лабораторная работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРОТЫ ДЕЙСТВИЯ ФОРВАКУУМНОГО НАСОСА МЕТОДОМ ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: Определить быстроту действия механического насоса методом постоянного давления.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для высокопроизводительных насосов метод постоянного объема непригоден, т.к. существуют затруднения в получении экспериментально зависимостей $P = f(\tau)$. От этого недостатка свободен **метод постоянного давления**, при котором измеряют поток газа, напускаемого в измерительную камеру, и затем по соответствующим соотношениям определяют быстроту действия насоса. В зависимости от производительности насоса применяют различные методы измерения потока газа. Для этого откачивают измерительную камеру до давления $0,1 P_n$ (P_n - давление, при котором требуется измерить быстроту действия). Затем с помощью натекателя напускают в измерительную камеру газ до установления давления P_n и измеряют при этом одним из способов поток напускаемого газа. Быстрота действия насоса при данном давлении:

$$S_n = Q / P_n, \quad (12.1)$$

где P_n - давление во входном сечении насоса.

Устанавливая натекателем различные давления P_n в измерительной камере и измеряя поток напускаемого газа, определяют зависимость быстроты действия насоса от впускного давления $S_n = f(P_n)$.

1. Методы измерения потока разреженного газа

Давление в вакуумной системе определяется балансом потоков поступающего и откачиваемого газов. Поэтому при проведении различных технологических процессов в вакууме важно знать величину потока откачиваемых газов.

В **методе калиброванного потока** в рабочий объем вакуумной системы вводят поток газа Q_k , значение которого известно, а парциальный состав соответствует составу газа, выделяющегося из источника 1 (рис. 12.1). Для определения потока из источника 1 два раза измеряют давление: с дополнительным потоком (P_2) и без него (P_1).

Если эффективная быстрота откачки S_0 в месте установки манометрического преобразователя 2 постоянна, то из уравнений:

$$S_0 = \frac{Q}{P_1}, \quad S_0 = \frac{Q + Q_k}{P_2}, \quad (12.2)$$

получим:

$$Q = \frac{Q_K}{P_2 / P_1 - 1}, \quad (12.3)$$

где Q - поток газа из источника 1, Q_K — известный вводимый поток газа, P_1 - давление в системе до введения в нее потока, P_2 - давление в системе после введения в нее потока.



Рис. 12.1. Схема метода калиброванного потока

Точность определения эффективной быстроты откачки проверяется путем повторного измерения при другом значении потока Q_K . Если при этом величина измеряемого потока Q не изменилась, то не изменилась эффективная быстрота откачки и отсчеты потока достоверны.

В методе **калибровочного сопротивления и двух манометрических преобразователей** в трубе устанавливают калиброванное сопротивление (капилляр, диафрагму) 3 с известной проводимостью (рис. 12.2). При движении газа на калибровочном сопротивлении 3 возникает разность давлений, которая измеряется с помощью манометрических преобразователей 1 и 2 с двух сторон от диафрагмы.

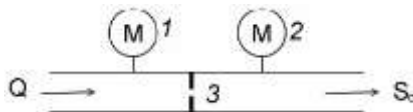


Рис. 12.2. Схема метода калибровочного сопротивления и двух манометров

Уравнение для расчёта потока газа:

$$Q = U \cdot (P_1 - P_2), \quad (12.4)$$

где U - проводимость сопротивления 3, P_1 - давление газа, измеренное перед сопротивлением преобразователем 1, P_2 — давление газа, измеренное после сопротивления преобразователем 2.

В качестве калибровочного сопротивления часто используют тонкие перегородки с несколькими отверстиями. Толщина стенки перегородки должна быть не менее чем в 20 раз меньше диаметра отверстий в ней, которое в свою очередь должно быть во столько же раз меньше размера трубопровода.

Описанные выше методы применяют для измерения небольших потоков газов (менее 10^{-3} м³ Па/с). Для измерения средних по величине потоков (10^{-4} – 2 м³ Па/с) может быть рекомендован метод **ртутной капли** (рис. 12.3). Ко входному патрубку насоса, БДН которого определяют, присоединяется объем 2 с манометром 3 и трубка небольшого сечения с регулируемым натекателем 4. Натекатель 4 сообщается с атмосферой через капилляр 5 и кран 6. При работающем насосе и открытом кране 6 натекателем можно установить такой расход поступающего в насос воздуха, чтобы манометр 3 показывал требуемое постоянное давление P . В трубку 5 запускается капля ртути, кран

б закрывается и с момента времени t_1 капля ртути начинает перемещаться. Перекрыв натекатель 4 или соединив вакуумную систему через кран б с атмосферой, останавливают перемещение ртути в трубке 5.

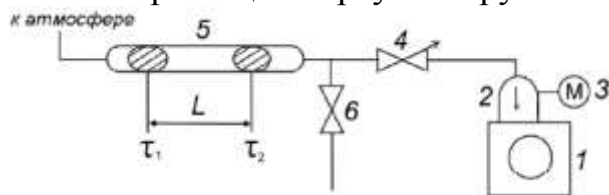


Рис. 12.3. Схема реализации метода ртутной капли

По диаметру трубки d и расстоянию l , которое капля ртути прошла за время $t_2 - t_1$ вычисляют объем газа V_{Γ} откачанного насосом из трубки 5 при атмосферном давлении. Из равенства потоков газа в трубке 5 при атмосферном давлении и в любом сечении объема 2 при давлении P :

$$S_n = \frac{\pi d^2 l P_{atm}}{4(t_2 - t_1) P} \quad (12.5)$$

Недостаток метода: токсичность ртути - нужно иметь специальное оборудование и строго соблюдать правила техники безопасности.

Потоки более $0,2 \text{ м}^3 \text{ Па/с}$ можно измерять с помощью ротаметров, в которых используется сопротивление движению потока газа, создаваемое поплавком, находящимся в вертикальной конической трубке.

2. Описание лабораторного стенда

Метод постоянного давления имеет разновидности, отличающихся способом измерения величины потока газа, подаваемого в насос. Метод постоянного давления используется для насосов с большой БДН. Приведенная схема пригодна при высоких давлениях у входа в насос.

Схема лабораторного стенда показана на рис. 12.4. Газ из баллона 8 через редуктор 7, напускают в объем, откаченный предварительно форнасосом при открытом клапане 4. Давление в объеме напуска контролируется вакуумметром 6. Масляная бюретка 5 используется для измерения величины потока газа, поступающего в насос через натекатель 3 при закрытом клапане 4.

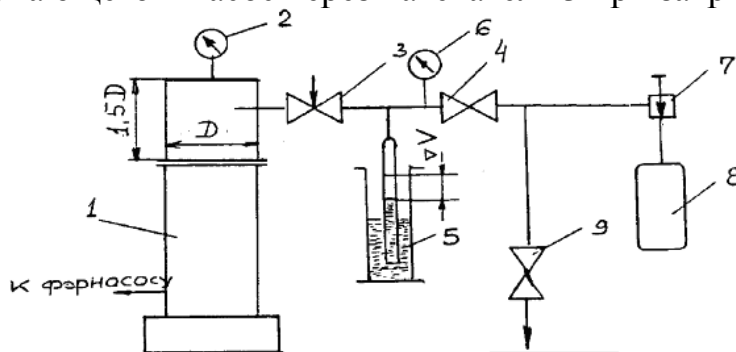


Рис. 12.4. Схема экспериментальной установки для определения БДН методом постоянного давления.

Если давление напуска больше или равно атмосферному, то перепадом давлений внутри и снаружи бюретки при изменении в ней уровня масла можно пренебречь. Поток газа, который направляют к испытуемому насосу 1 через натекаТЕЛЬ 3, определяется только объемной скоростью подъема масла в бюретке и величиной атмосферного давления:

$$Q = P_{\text{нап}} \Delta V / \Delta t, \quad (12.6)$$

где $P_{\text{нап}}$ - давление в объеме напуска, ΔV - объем газа, откачиваемый из бюретки за время Δt .

Манометр 2 измеряет давление газа P в измерительном колпаке, установленном на входе в насос. БДН в месте подключения манометра определяется из условия стационарности потока.

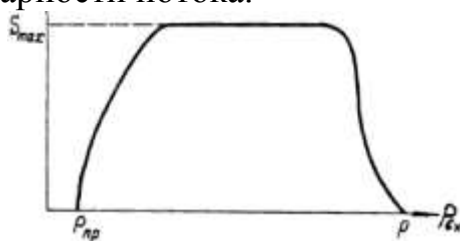


Рис. 12.5. БДН – основная характеристика вакуумного насоса от давления

Клапан 4 необходим для опускания масла в бюретке и повторении экспериментов. Натекателем регулируется величина потока газа, поступающего в насос - можно получить у входа в насос различные давления. Это позволяет построить основную характеристику насоса (рис. 12.5).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания по лабораторной работе.
2. Собрать вакуумную схему установки.
3. Запустить установку. Для чего включить форвакуумный насос и откачать всю систему до давления 1 Па. Затем запустить исследуемый высоковакуумный насос и откачать систему до давления $10^{-4} - 10^{-3}$ Па.
4. Предварительно через клапан 9 откачать до давления 1 Па и затем напустить газ в объем напуска до атмосферного давления. Начальное давление, которое установилось в измерительном колпаке, соответствует предельному давлению насоса $P_{\text{пр}}$.
5. Открывая постепенно натекаТЕЛЬ 3, устанавливаются различные давления P . Для того, чтобы на графике было бы достаточное количество измерений, нужно настраивать давление так, чтобы последующее значение отличалось от предыдущего не более, чем в 2 раза. Давление P , время t и уровень подъема масла в бюретке записываются в таблицу 13.1 (диаметр бюретки равен 1 мм).

Таблица 13.1. Экспериментальные данные

№	P , Па	t , с	Δh , мм	ΔV , м ³	$P_{\text{нап}}$, Па	S , м ³ /с
---	----------	---------	-----------------	-----------------------------	-----------------------	-------------------------

6. Измерения повторить 3 - 5 раз.
7. Выключить установку.
8. Построить график зависимости $S_n = f(P)$ по данным таблицы.
9. Рассчитать погрешности измерения БДН.
10. Из графика $S_n = f(P)$ определить основные характеристики насоса: предельное давление $P_{пр}$, максимальную быстроту откачки S_{max} и максимальное рабочее давление $P_{вып}$.
11. Составить отчет по проделанной работе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Сущность метода постоянного давления для измерения БДН?
2. Что такое предельное давление насоса?
3. Что такое быстрота действия насоса?
4. Методическая погрешность измерения потока газа?
5. Чем вызваны случайные ошибки при измерении БДН?
6. Как оценить минимальную и максимальную величины газовых потоков, которые могут быть измерены масляной бюреткой?
7. Чем определяется выбор величины давления в объеме напуска?

Лабораторная работа № 13. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ПОИСКА ТЕЧИ

Цель работы: Изучение методов поиска течи и поиск течи в вакуумной системе с помощью гелиевого течеискателя.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Зачастую во вновь собранной вакуумной установке не удается сразу получить необходимое разрежение. При этом возникает задача найти причину неисправной работы вакуумной системы и устранить ее. Существуют три причины, затрудняющие получение рабочего вакуума:

- неисправность насоса;
- газовыделение в систему;
- натекание в систему атмосферного воздуха.

Для того чтобы определить, какая из этих причин является основной, следует изолировать откачиваемую систему от насоса. По графику зависимости $P = f(\tau)$ можно идентифицировать неисправность.

Если давление в системе оказывается значительно выше предельного вакуума насоса и после перекрытия крана практически не меняется (рис. 13.1, прямая *a*) - неисправен насос. Изменение давления свидетельствует о наличии в системе источников газовыделения (рис. 13.1, кривая *b*), так как с некоторого момента давление в системе перестает изменяться благодаря

установлению нового равновесия между выделением и поглощением стенками газов или паров. Если давление в системе, откачанной до $P \ll P_{атм}$, непрерывно возрастает и пропорционально времени (рис. 13.1, прямая в), то причина этого состоит в натекании в систему атмосферного воздуха.

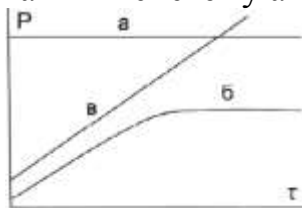


Рис. 13.1. Графики изменения давления в перекрытом от насоса объеме

Неисправность насосов - случай достаточно редкий. Чаще препятствует получению вакуума загрязнение системы (выделение газов внутри камеры) или ее негерметичность. Зачастую оба явления действуют, и необходимо определить, какое из них вносит основной вклад.

Герметичность - это непроницаемость стенок, ограничивающих объем, для газов и жидкостей. Часто о степени герметичности судят по повышению давления в объеме, изолированном от откачки. Однако только по скорости изменения давления нельзя дать количественную оценку степени герметичности, т.к. равные количества газа в откачанных сосудах различного объема вызовут различное нарастание давления. Поэтому в качестве критерия герметичности используют количество газа, проникающего в систему в единицу времени:

$$B = \frac{V \Delta P}{\Delta t}, \quad (13.1)$$

где V - изолированный от откачки объем, ΔP - изменение в нем давления за время Δt , B - величина натекания в $[м^3 \text{ мм рт. ст./с}]$ или $[м^3 \text{ Па/с}]$.

1. Общая характеристика методов течеискания

Наиболее общая характеристика различных современных течеискателей заключается в их способности избирательно реагировать на вещество, называемое **пробным**. Процесс поиска течи заключается в увлечении течеискателем пробного вещества, проникающего через течь, и его реакции на это вещество. Чем выше избирательная способность прибора, тем резче его реакция на пробное вещество, тем больше оказывается чувствительность течеискателя. В свою очередь реакция прибора на проникание сквозь течь пробного вещества тем резче, чем сильнее это вещество отличается от воздуха по электрическим, тепловым или другим свойствам.

Метод опрессовки применяется для испытаний изделий, в которых нельзя или нецелесообразно создавать разрежение. В этом случае в изделии создается избыточное давление пробного газа и регистрируется его выход на наружную поверхность с помощью течеискателей.

Кроме того, учитывая размеры и конфигурацию исследуемой на течь

вакуумной установки, возможно погружение ее в жидкость или смачивание поверхности мыльным раствором. Образование пузырьков свидетельствует об истечении газа, а также позволяет оценить величину течи по скорости образования и величине пузырей. Чувствительность метода к течам может быть несколько повышена путем применения для опрессовки газов с меньшей, чем у воздуха вязкостью. Примерно вдвое большую чувствительность дает применение водорода. Применение гелия при опрессовке выигрыша не дает, поскольку вязкость его даже несколько превышает вязкость воздуха.

Обнаружение течей при пониженном давлении. Метод высокочастотного разряда применим для определения степени разрежения и обнаружения течей в стеклянных вакуумных приборах и установках, а также в металлических системах при наличии в них стеклянных деталей или при установке стеклянного разрядника.

На методе высокочастотного разряда основана работа искрового течеискателя, который конструктивно выполнен в виде небольшого блока с выносным ВЧ электродом (трансформатор Тесла).

В откачанном объеме, отделенном от окружающего пространства стеклянными стенками, может быть возбужден безэлектродный высокочастотный разряд, характер которого определяется степенью достигнутого в объеме разрежения. При давлении в объеме, близком к атмосферному, приближение к стеклу электрода высокочастотного трансформатора не сопровождается никакими внешними эффектами. В диапазоне давлений от 10 до 0,05 мм рт. ст. возникает разряд, сопровождающийся интенсивным свечением, исчезающим по мере улучшения вакуума. При давлении в объеме ниже $5 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. разряд проявляется в беспорядочном пучке искр, бьющих в стекло с электрода высокочастотного трансформатора. Место течи на гладкой поверхности стеклянной установки или в стеклянных спаях можно обнаружить передвижением вдоль них острия электрода. Приближение электрода на расстояние порядка 1 см к течи сопровождается формированием разряда в тонкий ярко-белый искровой пучок, направленный своим концом точно на место нахождения течи.

Искра, направленная с острия электрода в течение длительного времени в одну точку стекла может пробить его и образовать течь.

Люминесцентный метод применяется для испытания на герметичность малогабаритных открытых сосудов, откачка или опрессовка которых затруднена или невозможна.

Испытываемый на герметичность сосуд целиком или только подозрительной по натеканию частью помещается в раствор люминофора в органической жидкости (трихлорэтилене или CCl_4) так, чтобы он не попал во внутреннюю полость или на противоположную поверхность стенки. Внутренние стенки по окончании выдержки облучают ультрафиолетовыми лучами.

Если в погруженном сосуде имеется течь, то под действием капиллярных сил между стенками течи и раствором последний втягивается внутрь те-

чи проходит по ней. Далее проходит на противоположную сторону течи, где по мере испарения растворителя накапливается высохший люминофор. При облучении испытуемого сосуда ультрафиолетовыми лучами светящийся люминофор укажет место нахождения течи.

Преимущества: не требуется дополнительная откачка испытуемых сосудов, достаточно высокая чувствительность.

Метод обдува в основном применяется для испытаний вакуумных систем с собственными средствами откачки и элементов вакуумных систем. В этом случае на наружную поверхность изделия подается пробный газ. Во внутренней полости изделия создается разрежение и фиксируется проникновение в нее пробного газа.

Помимо специализированных течеискателей для регистрации пробного газа можно использовать имеющиеся в системе манометрические датчики или использовать эффект изменения цвета свечения тлеющего разряда.

Манометрический способ. В ходе испытаний на герметичность манометры широко применяются для определения общего натекания в объеме по изменению в них давления. При этом манометры могут использоваться непосредственно как течеискатели, позволяющие устанавливать места течи и оценивать величину потока натекания.

Подозреваемое в натекании место обдувают пробным газом или опрыскивают жидким пробным веществом. Изменение показаний манометра связано с наличием течи. Происходящие при этом явления существенно различаются для случаев работы с газообразными или жидкими пробными веществами. Жидкие пробные вещества позволяют получить значительно более высокую эффективность поиска. При замене воздуха пробной жидкостью резко увеличивается количество протекающего через течь вещества.

Изменение показаний манометров при перекрытии течи пробным жидким веществом носит следующий характер. Вначале рост давления уменьшается - поступление воздуха через течь прекратилось, а фронт жидкости еще не успел пройти по каналу течи. Резкое увеличение давления сигнализирует о попадании жидкости в откачанный объем.

При работе с жидким пробным веществом возможен побочный эффект - уменьшение давления в системе из-за засорения течи твердыми частицами, взвешенными в жидкости или самой жидкостью.

Метод тлеющего разряда. В разрядной трубке, присоединенной к исследуемой на течь вакуумной установке, формируют тлеющий разряд. Если в установке имеются следы воздуха, то свечение имеет пурпурно-белый свет. Если к месту предполагаемой течи прикоснуться ватой, увлажненной, например, спиртом или ацетоном, или распылить спирт или ацетон (с помощью пульверизатора, шприца) вблизи этого места, то можно заметить изменение цвета свечения внутри установки из-за проникновения паров пробного вещества через щель.

Недостаток данного способа: проникновение жидкости через незначи-

тельные течи происходит очень медленно и изменение цвета свечения может произойти с запозданием, когда проверяется на герметичность уже другое место установки.

Течеискатель с палладиевым барьером (рис. 13.2) основан на явлении проницаемости палладия только для водорода. Проницаемость быстро возрастает с повышением температуры палладия.

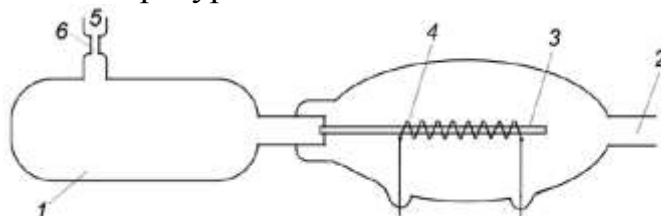


Рис. 13.2. Схема палладиевого течеискателя.

1 - датчик ионизационного манометра, 2 - трубка для присоединения к откачиваемому объему, 3 - палладиевая трубка, 4 - нагреватель, 5 - штуцер с перетяжкой 6.

Датчик ионизационного манометра 1 откачивается через свою откачную трубку. Испытываемый на течь объем присоединяется к трубке 2. Между ионизационным манометром и испытываемым объемом непосредственно сообщения нет. Разделительная стенка частично состоит из палладиевой трубки 3, которую можно нагреть спиральным подогревателем 4 до 800°C . Испытываемые на течь места обдуваются водородом. Водород проникает через течь в откачиваемый объем, частично диффундирует через нагретую палладиевую стенку и повышает давление в датчике ионизационного манометра. Проникший в объем 1 водород можно снова откачать через палладиевую стенку.

Галоидный течеискатель. Платина при температурах выше 800°C дает заметную эмиссию положительных ионов, которая резко возрастает в присутствии газов, содержащих галогены. Это позволяет обнаруживать небольшие утечки галогенсодержащего газа, создающее местное повышение концентрации галогенов.

Чувствительный элемент галоидного течеискателя представляет собой платиновый диод с навитым на керамическую трубку анодом прямого накала. Эмитируемые анодом ионы воспринимаются вторым электродом-коллектором, соединенным с усилителем постоянного тока. Происходит увеличение ионного тока при попадании галогенов в межэлектродное пространство чувствительного элемента. Такой диод может работать как при атмосферном давлении, так и в вакууме.

В первом случае диод является датчиком атмосферного галоидного течеискателя, во втором случае - вакуумного галоидного течеискателя. С атмосферным галоидным течеискателем поиск течи ведут методом опрессовки газом, содержащим галогены. С помощью вакуумного галоидного течеискателя поиск ведутся таким же методом, как и гелиевым течеискателем с применением фреона (содержащим галоген).

2. Масс-спектрометрический течеискатель ТИ1-22

Масс-спектрометрический течеискатель - газоанализатор, настроенный на регистрацию содержания пробного газа в смеси. В большинстве случаев пробным газом служит гелий, который, будучи химически инертным газом, совершенно безвреден и безопасен в работе. Благодаря малому содержанию гелия в воздухе (1/200 000 часть) и в газах, выделяемых внутренними стенками вакуумной системы, фон, на котором регистрируют сигнал, невелик, что обеспечивает высокую чувствительность течеискателя. Малая молекулярная масса гелия позволяет не только создать малогабаритную и простую конструкцию масс-спектрометрической камеры течеискателя, но и обеспечивает эффективное проникновение пробного вещества через течи. Пик в масс-спектре однократно ионизированного атома гелия не перекрывается с пиком какого-либо другого ионизированного атома или молекулы.

Течеискатель ТИ 1-22 позволяет работать в режиме «прямого потока» и «противотока». Использование режима «противоток» позволяет проверять на герметичность объекты значительного объема с большим газовыделением. Предусмотрен режим байпасной (обходной) откачки.

Течеискатель является индикаторным прибором и не подлежит проверке. Погрешность определения величины течи не нормируется. При работе с течеискателем необходимо соблюдать правила по работе с электроустановками - работа при снятых крышках запрещается.

Течеискатель состоит из вакуумной системы (СВ), устройства клавиатуры и индикации (УКИ), соединяемых между собой кабелем. Основным элементом течеискателя является масс-спектрометрический анализатор, состоящий из ионного источника, магнитной системы, приемника ионов и датчика давления.

Вакуумная схема течеискателя ТИ1-22 содержит (рис. 13.3): ручной клапан V4 (Др1) и V8 (Др2), масс-спектрометр S, турбомолекулярный насос N1, откачка ТМН V2, байпасная откачка ТМН V3, напуск V5, He V6, клапан электромагнитный V7, насос пластинчато-роторный N2, течь гелиевая A1, ловушка азотная B, преобразователь ионизационный P2.2, преобразователь манометрический ПМТ6-3М-1 (P1, P2.1, P3).

Масс-спектрометрический анализатор, заключенный в корпус из немагнитного сплава, помещается в магнитное поле. Накаленный вольфрамовый катод ионного источника эмитирует электроны, которые ускоряются электрическим полем, приложенным между катодом и корпусом ионизатора ионного источника. Электронный ток катода стабилизируется стабилизатором эмиссии. Магнитное поле, направленное по направлению движения электронов, фокусирует поток электронов в узкий пучок, проходящий в ионизатор. В ионизаторе электроны сталкиваются с молекулами газа, поступающего в течеискатель из проверяемого объема и вызывают их ионизацию. Образовавшиеся ионы вытягиваются из ионизатора электрическим полем, действующим перпендикулярно электронному пучку. Поток ионов через выходную

диафрагму ионного источника поступает в пространство дрейфа, в котором ионы разделяются по массам.

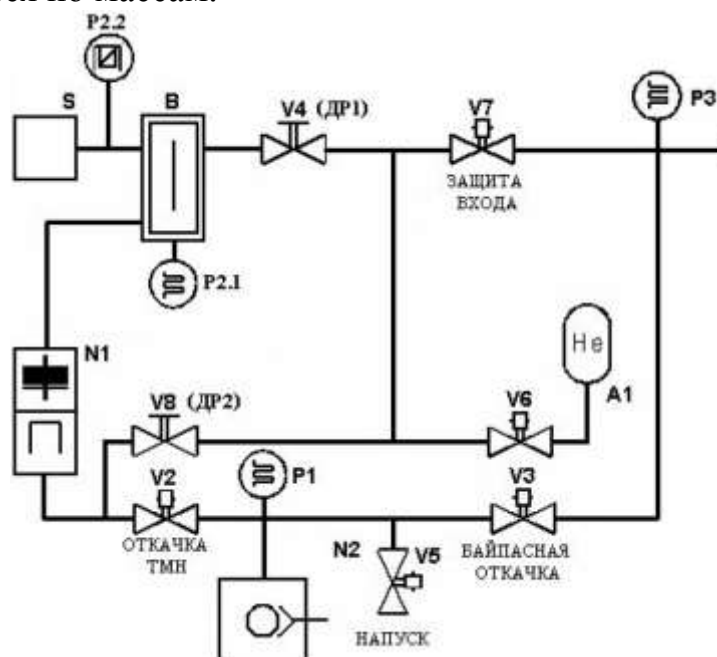


Рис. 13.3. Схема принципиальная системы вакуумной (СВ-22) ТИ 1-22

В ТИ 1-22 используется анализатор с поворотом на 180° и магнитной фокусировкой. Траектория движения ионов от ионного источника к приемнику ионов имеет вид полуокружности с радиусом 2,5 см.

Анализатор обладает фокусирующим свойством: ионы, выходящие из ионного источника расходящимся пучком, вновь собираются в узкий сходящийся пучок в плоскости входной диафрагмы приемника.

Коллектор ионов соединен с входом электрометрического усилителя, сигнал с которого подается на усилитель постоянного тока. Усиленный сигнал подается на устройство управления и индикации.

Для настройки анализатора и контроля потоков, регистрируемых теческательем, служит встроенная гелиевая течь «Гелит-1».

Рабочее давление в масс-спектрометрическом анализаторе ТИ 1-22 обеспечивается вакуумной системой (СВ), состоящей из форвакуумного насоса (ФВН), пароструйного насоса и азотной ловушки. Ловушка защищает анализатор от паров воды и масла поступающих в СВ из откачиваемых объектов и ФВН.

Контроль давления в линии предварительного разрежения и на входе, со стороны проверяемого объема, осуществляется манометрическими преобразователями ПМТ6-3М-1 (Р1 и Р3) соответственно. Контроль давления в анализаторе осуществляется манометрическим преобразователем Р2.1 при отключенном катоде и ионизационным датчиком Р2.2 при включенном рабочем катоде.

Управление дросселирующим клапаном V4 (Др1) производится при работе в режиме прямого потока. Управление дросселирующим клапаном V8

(Др2) осуществляется в режиме противотока.

Управление электромагнитными клапанами V2 (откачка ТМН), V3 (байпасная откачка), V5 (напуск) и V7 (защита входа) осуществляется от платы управления клапанами по командам программ управления микроконтроллера, установленного на плате. Для каждого режима работы течеискателя предусмотрена программа управления, запускаемая при выборе программы оператором с УКИ.

Органы управления находятся в блоке УКИ. Индикация состояния СВ клапанов, насосов паромасляного и ФВН расположена на передней вертикальной панели течеискателя. Включенное состояние клапана и насоса индицируется соответствующим светодиодом.

Работа в режиме **байпасной откачки** используется для подготовки испытываемого объекта или шупа к проведению испытаний на герметичность - создание давления P3, достаточного для безаварийного соединения подключенного объема с камерой анализатора.

Программа «БАЙПАС» запускается после выбора режима и нажатии кнопки ВВОД. На экран ЖКИ выводится сообщение ЗАКРЫТЬ ДР1 и ДР2. При этом закрывается клапан V2 ОТКАЧКА ТМН, открывается клапан V3 БАЙПАС и начинается откачка объекта форвакуумным насосом N2. Откачка продолжается до достижения P3 значения, установленного для P3 в поле «БЛОКИРОВКИ». При достижении указанного значения выдается сообщение «ГОТОВ БАЙПАС. ВЫБЕРИТЕ РЕЖИМ РАБОТЫ»

Режим работы в противотоке предназначен для работы по методу шупа или по методу обдува. Режим противотока предназначен для работы в диапазоне входных давлений от 1 до 50 Па. Режим противотока применяется для обнаружения больших утечек с высокой концентрацией гелия в зоне утечки (грубый режим).

Метод шупа применяется для обнаружения мест течей в газонаполненных объектах имеющих избыточное давление, во внутреннюю полость которых введен гелий. Для достижения наибольшей достоверности обнаружения течей избыточное давление должно быть максимально допустимым конструкцией испытываемого объекта. Как правило, избыточное давление создается газовой смесью с 5-10% концентрацией гелия. Щуп представляет собой засасывающее устройство, подключаемое к входному фланцу течеискателя. Расстояние между всасывающим соплом и обследуемой поверхностью должно быть минимальным. При приближении к месту течи поток газа, всасываемый щупом, обогащается молекулами гелия, что фиксируется течеискателем. Величина регистрируемых потоков зависит от размера отверстий в объектах, концентрации гелия, избыточного давления гелия в объекте, наличием воздушных потоков в зоне измерения, скорости перемещения всасывающего сопла относительно течи. Для оценки негерметичности рекомендуется повторить замер несколько раз.

Метод обдува применяется для поиска течей в объектах, подключаемых

к течеискателю и позволяющих создавать разрежение в объеме испытуемого объекта. Подозреваемые на течь места обдуваются потоком гелия с помощью обдувателя, подключаемого к источнику гелия, находящемуся под избыточным давлением. При обдуве на определение течи влияет разбавление струи гелия воздухом, время обдува, невыявление течи из-за быстрого перемещение обдувателя по испытуемой поверхности или пропуск отдельных участков. Для камер объемом более 10 л в режиме обдува рекомендуется применять дополнительные средства откачки.

На данном этапе необходимо плавно приоткрывая дроссель Др2 соединить откачанный до давления менее 50 Па объект или щуп.

При работе с полнопоточным щупом на наконечник щупа должна быть установлена герметизирующая заглушка, которая снимается после выполнения байпасной откачки и открытия дросселя ДР2.

Работа в режиме прямого потока применяется для высокочувствительного контроля герметичности объемов, позволяющих получить давление P3 менее 1 Па ($7,5 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст). Как правило режим прямого потока применяется для реализации метода обдува (см. режим «ПРОТИВОТОК») и метода вакуумной камеры.

Способ вакуумной камеры применяется для проверки герметичности газонаполненных объектов или их элементов. Для проведения испытаний изделие заполняется гелием и герметизируется. Изделие помещается в вакуумную камеру. Течеискатель присоединяется к вакуумной камере. Камера откачивается до рабочих давлений, предусмотренных требованиями на изделие. На основании регистрируемых течеискателем потоков определяется герметичность изделия по нарастанию гелиевого фона за определенное время. Изделие также может заполняться гелием непосредственно в вакуумной камере.

Эксплуатационные ограничения гелиевого течеискателя. В помещении, где должен проводиться контроль герметичности, не должно быть посторонних источников гелия. Перед началом работы необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации и выполнять все изложенные в нем требования.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания по лабораторной работе.
2. Ознакомиться с устройством и принципом работы гелиевого масс-спектрометрического течеискателя ТИ 1-22.
3. Включить масс-спектрометр МС-200.
4. Запустить временную развертку МС-200 по гелию.
5. Подсоединить капилляр МС-200 к вакуумной системе (трубопровод).
6. Открыть баллон с гелием, обдувать вакуумируемую трубу гелием из шланга. Наблюдать за концентрацией He в вакуумной системе.

7. Отметить в тетради точки трубки, при обдуве которых регистрируется гелий (присутствует течь).
8. Составить отчет по проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается свойство герметичности вакуумной системы?
2. В чем принцип масс-спектрометрического течеискания?
3. Почему при масс-спектрометрическом методе поиска течи используется гелий?
4. Для чего нужна калибровка течеискателя?

Лабораторная работа № 14. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ ГАЗОВ

Цель работы: Изучить процесс обезгаживания титанового образца методом изометрического расширения.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Теория Ленгмюра

В зависимости от способа получения, хранения и обработки материалы могут содержать и выделять разнообразные газы.

Теория Ленгмюра является фундаментальным вкладом в учение об адсорбции и основана на следующих основных положениях.

1. Адсорбция происходит на дискретных адсорбционных центрах, которые могут иметь различную природу.
2. При адсорбции соблюдается строго стехиометрическое условие - на одном центре адсорбируется одна молекула.
3. Адсорбционные центры энергетически эквивалентны и независимы - адсорбция на одном центре не влияет на адсорбцию на других.
4. Процессы адсорбции и десорбции находятся в динамическом равновесии.

Первое положение означает, что адсорбированные молекулы прочно связаны с адсорбционными центрами; они как бы локализованы на центрах (локализованная адсорбция). Из второго положения следует, что на поверхности может образовываться только один адсорбционный слой, поэтому адсорбцию по Ленгмюру называют мономолекулярной. Дифференциальная теплота адсорбции постоянна и что силами взаимодействия адсорбированных молекул можно пренебречь (третье положение). По последнему положению, адсорбированные молекулы, из-за флуктуаций энергии, могут отрываться от центров и переходить в газовую фазу.

Скорость адсорбции из газовой фазы $V_{адс}$ (число молекул, адсорбированных за единицу времени) пропорциональна давлению газа и числу сво-

бодных центров на поверхности твердого тела. Если общее число центров A_m , а при адсорбции оказывается занятыми A центров, то число центров, остающихся свободными равно $(A_m - A)$. Поэтому:

$$V_{адс} = k_{адс} P (A_m - A). \quad (14.1)$$

Процессы адсорбция и десорбции динамически уравновешены. Скорость десорбции связана с числом адсорбированных молекул:

$$V_{дес} = k_{дес} A. \quad (14.2)$$

При равновесии $V_{адс} = V_{дес}$ или $k_{адс} P (A_m - A) = k_{дес} A$. Переобозначив $k_{адс}/k_{дес} = b$ (b - const адсорбционного равновесия) и $A/A_m = \theta$ (относительное заполнение поверхности) получим изотерму адсорбции Ленгмюра (рис. 14.1):

$$A = A_m \frac{b P}{1 + b P}, \quad \theta = \frac{b P}{1 + b P}. \quad (14.3)$$

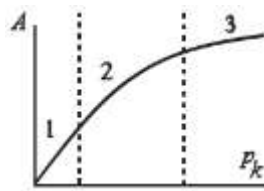


Рис. 14.1. Изотерма адсорбции Ленгмюра

Из термодинамики известно, что константа равновесия связана со стандартными изменениями энергии Гиббса:

$$RT \ln b = -\Delta G^{oT}. \quad (14.4)$$

По уравнению термодинамики:

$$\Delta G^{oT} = \Delta H^o - T \Delta S^{oT}. \quad (14.5)$$

Поэтому:

$$\ln b = \frac{\Delta S^{oT}}{R} - \frac{\Delta H^o}{RT} \quad \text{и} \quad b = \exp \frac{\Delta S^{oT}}{R} \exp \left(-\frac{\Delta H^o}{RT} \right). \quad (14.6)$$

Константа адсорбционного равновесия связана со стандартной энтропией ΔS^{oT} и со стандартной теплотой адсорбции $q = -\Delta H^o$.

Уравнение Ленгмюра содержит два параметра, характеризующих адсорбцию. Это **константа адсорбционного равновесия** b и **величина предельной адсорбции**, соответствующая полному заполнению поверхности мономолекулярным слоем адсорбата A_m (параметр, называемый емкостью монослоя). При очень малых заполнениях и, следовательно, при очень малых значениях p в знаменателе уравнения (14.3) в пределе $bP \ll 1$. Поэтому в этой области $A = A_m bP$ - в области малых заполнений уравнение Ленгмюра переходит в уравнение Генри.

При очень высоких давлениях ($bP \gg 1$) из уравнения Ленгмюра следует, что $A = A_m$ - величина адсорбции перестает зависеть от давления. Этому случаю на рис. 1 соответствует область 3 - почти все адсорбционные центры уже заняты и свободных центров на поверхности практически нет. В не-

большом интервале концентраций, соответствующему области 2, адсорбция может приближенно быть описана уравнением Фрейндлиха:

$$A = \frac{X}{m} = \beta \sqrt[n]{c}, \quad (14.7)$$

где X - количество адсорбированного вещества, m - масса адсорбента, β и n - константы адсорбционной системы ($0 < 1/n < 1$).

По Фрейндлиху, n не зависит от заполнения, хотя это утверждение не вполне точно. Это эмпирическое уравнение подходит для ориентировочных расчетов. Чаше оно применяется в форме:

$$\ln A = \ln \beta + (1/n) \ln c, \quad (14.8)$$

позволяющей построить линейную зависимость $\ln A - \ln c$ и графически определить оба постоянных параметра β и n .

Для определения численных значений параметров A_m и b уравнение Ленгмюра можно представить в виде:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_m} + \frac{1}{A_m b P}. \quad (14.9)$$

В координатах $[1/A; 1/P]$ изотерма Ленгмюра представлена прямой (рис. 14.2). Тангенс угла наклона этой линии равен $1 / A_m b$, а отрезок, отсекаемый на ординате, равен $1/A_m$.

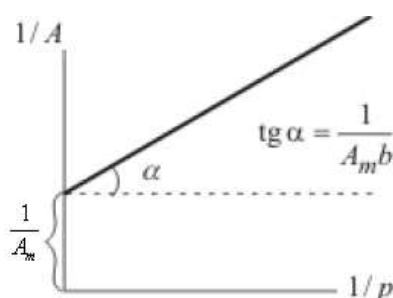


Рис. 14.2. Линеанизированная изотерма Ленгмюра

Путем линеаризации уравнения Ленгмюра можно определить предельную величину адсорбции A_m , соответствующую полному мономолекулярному покрытию адсорбента молекулами адсорбата.

Экспериментальное определение A_m позволяет рассчитать **удельную поверхность адсорбента** $s_{уд}$. Для расчета необходимо располагать величиной площади w_0 , приходящейся на единичную молекулу адсорбата в мономолекулярном слое:

$$s_{уд} = A_m N_A w_0, \quad (14.10)$$

где N_A - постоянная Авогадро.

Взаимодействие адсорбированных молекул становится заметным с увеличением степени заполнения. Вклад этого взаимодействия в теплоту адсорбции должен увеличиваться с увеличением степени заполнения. Эти противоположные эффекты во многих случаях компенсируют друг друга, так что наблюдаемые значения q в широком интервале θ могут оставаться постоянными. Реальное изменение q может компенсироваться изменением энтро-

пии. Так, противоположное действие двух компенсирующих друг друга факторов позволяет применять уравнение Ленгмюра, в ряде случаев, к адсорбции на реальных поверхностях.

Как правило, при адсорбции приходится рассматривать адсорбцию газовых смесей, а не индивидуальных адсорбентов. Из модели Ленгмюра можно получить уравнение изотермы адсорбции для смесей. Если газовая смесь состоит, например, из двух компонентов, то на какой-то части адсорбционных центров адсорбируются молекулы одного компонента, на другой части - второго компонента. Число свободных центров будет равно $(A_m - A_1 - A_2)$. В остальном, уравнение адсорбции для смеси газов не отличается от уравнения (14.3):

$$A_1 = A_m \frac{b_1 P_1}{1 + b_1 P_1 + b_2 P_2}, \quad A_2 = A_m \frac{b_2 P_2}{1 + b_1 P_1 + b_2 P_2}. \quad (14.11)$$

Из уравнения следует, что увеличение парциального давления одного компонента подавляет адсорбцию других, и тем сильнее, чем больше его адсорбционная константа равновесия.

Эффективным способом очистки материалов является высокотемпературный отжиг в вакууме или водороде. Перемещение растворенных атомов газов в объеме металла или по его поверхности происходит за счет диффузии.

Повышение температуры отжига ускоряет обезгаживание металлов и улучшает эффективность очистки поверхности. Температура обезгаживания должна быть, по возможности, более высокой, по крайней мере, выше рабочей температуры деталей в приборах. Эта температура иногда ограничивается возможностью испарения материала (испарение считается заметным, если давление паров над металлом $> 10^{-2}$ мм рт.ст.). Предельные температуры обезгаживания: W - 1800°C, Mo - 950°C, Cu - 500°C, Ni - 750-950°C, Fe - 1000°C.

Используются следующие способы нагрева при обезгаживании:

- в электрических и газовых печах;
- за счет пропускания электрического тока через деталь;
- токами высокой частоты;
- вакуумной бомбардировкой положительными ионами (электронами) (возможно разрушение поверхностных химических соединений).

Если выделение газа обусловлено диффузией из объема, то скорость выделения газа почти пропорциональна $t^{0.5}$ (t – время обезгаживания). Скорость выделения хемосорбированного газа пропорциональна t^{-1} , а образующегося при поверхностной термической диссоциации - t^{-2} .

2. Методы определения величины сорбции

Существуют несколько способов определения количества газов, выделяемых из материала. Наиболее простые: метод известной проводимости

трубопроводов и метод изотермического расширения.

В методе **известной проводимости трубопроводов** проводится непрерывная откачка объема, в котором происходит газовыделение. Для откачки используется трубопровод известной проводимости. При заметном газовыделении из образца в системе будет повышаться давление даже при непрерывной откачке. При этом количество выделившихся в единицу времени газов будет превышать, количество газов, удаляемых насосом через трубопровод, на концах которого устанавливается разность давлений $P_1 - P_2$ (где P_1 - давление на конце трубопровода обращенном к сосуду, а P_2 - на конце трубопровода, обращенном к насосу). Поток газа через трубопровод:

$$Q = U(P_1 - P_2), \quad (14.12)$$

а количество газа, прошедшее за время Δt равно:

$$\Delta G = Q\Delta t. \quad (14.13)$$

Метод изотермического расширения. О количестве выделившихся газов (G) можно судить по увеличению давления в известном по величине объеме, изолированном от насосов (V_2):

$$G = V_2(P_{кон} - P_{нач}), \quad (14.14)$$

где $P_{кон}$ - давление, которое установилось в системе при подключении объема, $P_{нач}$ - начальное давление, которое было в объеме до соединения его с системой, в которой происходит газовыделение.

Выражение для потока газа Q , десорбирующегося с поверхности:

$$Q = V_2 \frac{\Delta G}{\Delta t}, \quad (14.15)$$

где ΔG - количество газа, десорбированного с поверхности за время Δt .

3. Описание лабораторной установки

Установка состоит из двух объемов (V_1, V_2), откачиваемых с помощью диффузионного 4 и форвакуумного 1 насосов (рис. 14.3).

Исследуемый образец, представляющий собой титановый цилиндр, который находится в объеме V_1 . Нагрев образца осуществляется с помощью вольфрамового нагревателя, помещенного внутри цилиндра, температура поверхности которого контролируется с помощью медь-константановой термопары. ЭДС (ε) термопары переводится в значения температуры согласно уравнению:

$$\Delta T(^{\circ}C) = 5,77 \cdot 10^{-3} + 24\varepsilon(mB). \quad (14.16)$$

Перед началом работы краны 2, 6 открыты; краны 3, 5 открыты в положение "байпас".

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методические указания к лабораторной работе.
2. Открыть кран охлаждения диффузионного насоса.
3. Закрывать кран 2.

4. Включить механический насос и откачать объемы V_1 и V_2 до предельного давления, создаваемого форвакуумным насосом.
5. Открыть кран 3 в положение "форвакуум".
6. Открыть кран 5 в положение "высокий вакуум".
7. Включить нагреватель диффузионного насоса. Получить давление, соответствующее 100 делениям по терморпарному вакуумметру.
8. С помощью ионизационного датчика измерить предельное давление $P_{пред}$ в объеме V_1 .
9. Выключить ионизационную часть вакуумметра, закрыть кран 6.
10. Получить кривую натекания в объем V_1 за время менее 10 мин.

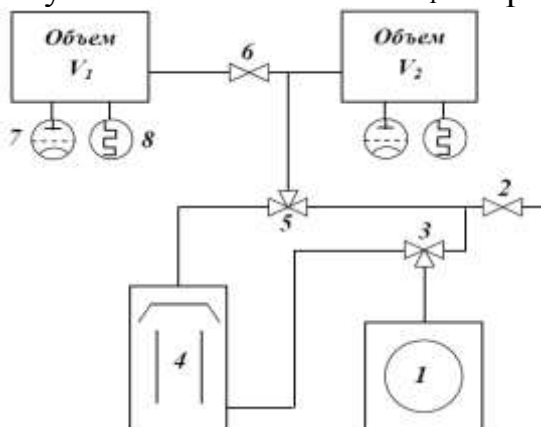


Рис.14.3. Вакуумная часть установки для определения газовыделения

Внимание: не допускать увеличения давления в объем V_1 выше 12 делений (давление запуска пароструйного насоса).

11. Открыть кран 6.
12. Откачать объемы до давления соответствующего 100 делениям по шкале терморпарного вакуумметра.
13. Включить нагреватель образца.
14. Включить секундомер (отсчет времени ведется постоянно в течении эксперимента, через каждую минуту регистрировать значение температуры образца в лабораторный журнал).
15. Закрыть кран 6.
16. Раз в минуту записывать значение давления в объеме V_1 .
17. По истечении 3-5 минут (или раньше, если показания терморпарного вакуумметра, подключенного к объему V_1 уменьшились до значений менее 40 делений терморпарного вакуумметра) закрыть кран 5.

Внимание: не допускать увеличения давления в объем V_1 выше 12 делений (давление запуска пароструйного насоса).

18. Открыть кран 6.
19. Через несколько секунд после выравнивания давлений в объемах V_1 и V_2 повторить п.15-16 и отметить показания секундомера в момент закрытия крана 6 (после 5 измерения выключить нагреватель).
20. Снять показания вакуумметра, подключенного к объему V_2 . Рассчитать количество выделившегося газа по формуле (14.14).

21. Открыть кран 5 в положение "высокий вакуум". Дальнейшее выполнение работы продолжить, следуя пунктам 17-21. Необходимо получить не менее 5 значений давления при включенном нагревателе и 1-2 значения после его выключения.

22. Открыть кран 6. Выключить секундомер. Рассчитать величину потока десорбировавшегося газа по формуле (14.15).

23. Откачать объемы до давления соответствующего 100 делениям по шкале термодарного вакуумметра.

24. Повторить пункты 8 - 12.

25. По данным измерений построить семейство кривых натекания в объеме V_1 , графики зависимости количества выделившегося газа (G), величины потока (Q) и температуры образца (t) от времени.

26. Составить отчет по проделанной работе.

Порядок выключения установки

1. Открыть кран 5 в положение "байпас".
2. Выключить нагрев диффузионного насоса.
3. Через 30 минут открыть кран 3 в положение "байпас".
4. Выключить механический насос.
5. Открыть кран 2.
6. Закрыть кран охлаждения диффузионного насоса.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И САМОКОНТРОЛЯ СТУДЕНТОВ

1. За счет каких явлений удерживаются молекулы на поверхности твердых тел?
2. Способы вакуумного обезгаживания материалов.
3. От чего зависят скорость газовой выделенной и общее газовой выделение?