

Для обеспечения лучшей герметичности и сохранности уплотнителя при скольжении его по валу в соединении подается смазка. В качестве смазки используют вакуумные масла.

В клапане, показанном на рис 5-13, уплотнителем является сама заслонка, которая изготовливается из меди. Ресурс заслонки в сильной степени зависит от удельных нагрузок на нее. Поэтому в процессе эксплуатации клапанов с электромеханическим приводом желательно устанавливать перемещением концевых выключателей минимальную нагрузку на заслонку, обеспечивающую герметичность пары седло—заслонка. Напряжение по паре седло—заслонка не должно превышать  $6,6 \cdot 10^{-12}$  Вт ( $5 \cdot 10^{-8}$  л·мкм рт. ст/с). В среднем заслонка выдерживает от нескольких сотен до нескольких тысяч циклов закрытия с периодическими прогревами клапана. Заслонка клапана с диаметром условного прохода 25 мм, работающего при оптимальной нагрузке (около 25—30 кг на миллиметр длины контакта заслонки с седлом), способна выдержать без потери герметичности около 20 тысяч циклов срабатывания. По мере увеличения размера клапана — диаметра условного прохода — ресурс заслонки понижается.

При каждой разборке клапана заслонку протачивают или заменяют. Это в первую очередь относится к клапанам с большим условным проходом — около 100 мм.

Ресурс клапанов с металлическим уплотнителем составляет от нескольких десятков до сотен тысяч циклов срабатывания. В процессе выработки ресурса производится два-три ремонта клапана с заменой или восстановлением отдельных его деталей.

### 5-3. Ловушки

В вакуумных системах для получения высокого вакуума, свободного от органических соединений и других конденсирующихся паров, устанавливают ловушки. Ловушкой называют устройство для улавливания паров или газов, применяемое с целью предотвращения их проникновения из одной части вакуумной системы в другую или снижения их парциального давления.

В оборудовании для производства электровакуумных приборов наибольшее распространение получили охлаждаемые и сорбционные ловушки. Ловушка пред-

ставляет собой участок трубопровода, в котором размещены охлаждаемые перегородки, например жалюзи (рис. 5-14), или сорбент (рис. 5-15), препятствующие проникновению паров и конденсирующихся газов в откачиваемый сосуд.

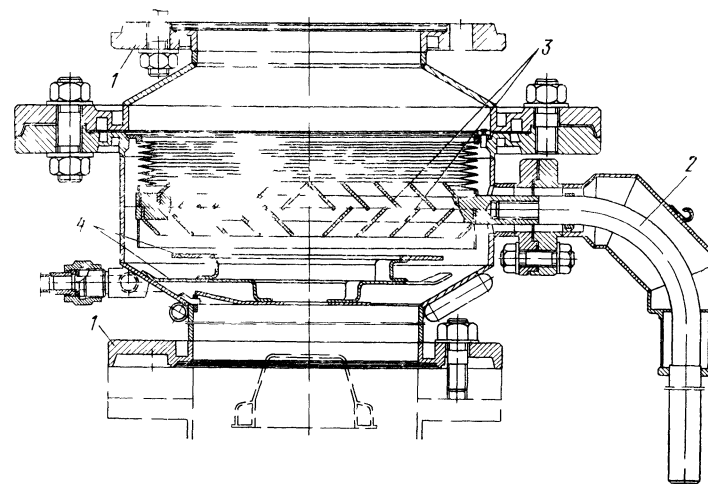


Рис 5-14 Жалюзийная двухрядная азотно-водяная ловушка  
1 — присоединительные фланцы, 2 — стержень, охлаждаемый жидким азотом, 3 — жалюзи, припаянные к стержню, 4 — кольцевые перегородки, охлаждаемые вместе с нижней частью корпуса водой

Перегородки охлаждаемой ловушки припаяны к массивному стержню, который помещают в сосуд Дьюара с хладагентом, или к трубке, через которую протекает хладагент. Первые из них получили название заливных, вторые — проточных ловушек. Чаще всего в заливных ловушках в качестве хладагента используют жидкий азот, в проточных — воду или жидкий азот. В соответствии с применяемым хладагентом ловушки называют азотными или водяными. В лабораторной практике и в промышленности встречаются также азотно-водяные ловушки, в которых нижний ярус перегородок охлаждается водой, верхний — азотом.

Охлаждение заливных ловушек аналогично охлаждению адсорбционных насосов. Время первоначального охлаждения этих ловушек больше, чем проточных. К тому же внешне трудно определить момент, когда ло-

вушка полностью заморозилась. Установившаяся температура охлаждаемых перегородок заливной ловушки, в особенности при плохом контакте внешней и внутренней частей охлаждаемого стержня, может отличаться от температуры хладагента на 10°C или более. Установившаяся температура перегородок проточной ловушки обычно отличается от температуры хладагента не более чем на 1—2°C.

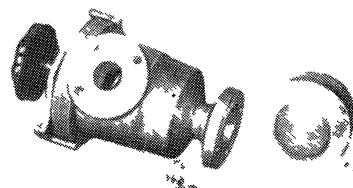
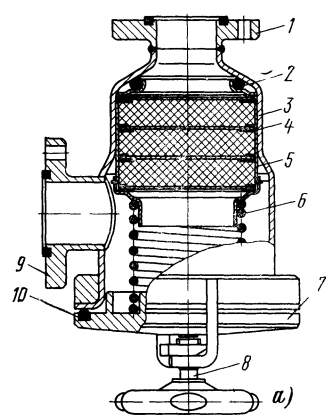


Рис 5-15 Непрогреваемая сорбционная ловушка ЛС2-25. а — схема, б — внешний вид ловушки и пакета с сорбентом 1, 9 — присоединительные фланцы 2, 10 — уплотнители 3 — корпус 4 — сетка 5 — пакет с сорбентом 6 — пружина, 7 — крышка 8 — винт

Для питания проточных ловушек жидким азотом из сосуда Дьюара закрытого типа используют специальные питательные устройства (рис 5-16). Питатель 4 имеет канал для протока жидкого азота, герметичные присоединительные устройства для присоединения к сосуда Дьюара 2 и ловушке 3, а также предохранительный клапан 1 для сброса избыточного давления в сосуда Дьюара.

Для подачи азота в ловушку поступают следующим образом. Открывают предохранительный клапан питательного устройства. Питатель устанавливают на сосуд Дьюара. Сосуд Дьюара с питательным устройством присоединяют к одному концу трубки охлаждения ловушки. Закрывают ограничительный предохранительный клапан на питательном устройстве. Снимают ограничительный колпачок со свободного конца трубки охлаждения ловушки. В результате испарения жидкого азота в сосуда Дьюара увеличивается давление, и жидкий азот на-

чинает поступать в ловушку. В некоторых питательных устройствах имеется нагреватель, помещаемый в сосуд Дьюара. Для ускорения процесса увеличения давления газа в сосуда Дьюара включают нагреватель. Через некоторое время из свободного конца трубки охлаждения ловушки начнет выходить холодный газ, еще через некоторое время — белесый туман, содержащий капель-

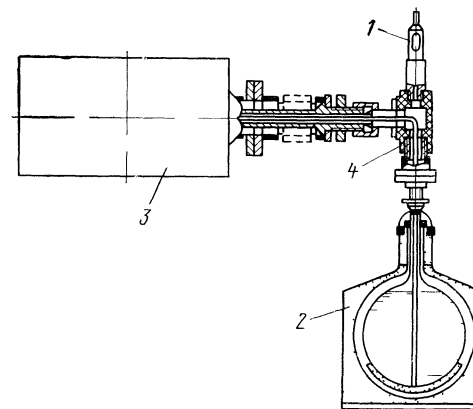


Рис 5-16 Подача жидкого азота в проточную ловушку из сосуда Дьюара с помощью питательного устройства

ки жидкого азота. Появление капель жидкого азота будет свидетельствовать о замораживании ловушки. После этого выключают нагреватель и надевают ограничительный колпачок, ограничивая поток азота через ловушку.

Нежелательно допускать длительное прекращение подачи азота в ловушку. Пары воды, находящиеся в атмосфере, при отсутствии потока азота попадают в трубку охлаждения ловушки, конденсируются там, что может вызвать закупорку трубки. Если это произошло, ловушку необходимо продуть сжатым воздухом.

Если в процессе работы ловушки полностью исчезает белесый туман, выходящий из свободного конца трубки охлаждения, необходимо снять ограничительный колпачок, тем самым уменьшить сопротивление потоку азота. Если при этом не восстановится достаточный поток азота, необходимо на непродолжительное время

включить нагреватель питательного устройства. Наоборот, если из ловушки выбрасывается большое количество жидкого азота, необходимо на время открыть предохранительный клапан питательного устройства, чтобы уменьшить давление газа в сосуде Дьюара, тем самым уменьшить подачу азота.

В вакуумной системе охлаждаемые ловушки располагаются между диффузионным насосом и откачиваемым сосудом. Обычно ловушка отделяется от откачиваемого сосуда затвором. Правила работы с ловушками неразрывно связаны с правилами эксплуатации установок в целом. Однако можно сформулировать основные принципы, которым необходимо следовать при эксплуатации охлаждаемых ловушек. В моменты охлаждения и последующего нагрева перед выключением установки ловушка должна быть разобщена с откачиваемым сосудом затвором. Ловушка наиболее эффективно выполняет свои функции — улавливает конденсирующиеся пары, когда существует установившийся режим откачки при молекулярном режиме течения газа. Нельзя допускать контакта охлажденной ловушки с атмосферным воздухом (при атмосферном или близком к нему давлении). В процессе работы установки нельзя допускать даже кратковременного размораживания ловушки. Ловушка, если она не подвергается воздействию большой газовой нагрузки, сохраняет низкую температуру в течение 10—20 мин после прекращения подачи хладагента. Перед постановкой в вакуумную систему ловушка должна быть проверена на герметичность, в том числе трубка охлаждения проточных ловушек.

Сорбционные ловушки применяются в линиях форвакуумной и предварительной откачки. Существенным недостатком сорбционных ловушек является ограниченная сорбционная емкость сорбента. Сорбционные ловушки способны поглотить от 20 до 130 г масла, обеспечивая поток углеводородов за ловушкой не более  $10^{-7}$  мг / (ч·см<sup>2</sup>).

Срок службы ловушек и период между очередными регенерациями сорбента будет максимальным, если соблюдать следующие правила. Ловушку нельзя помещать в непосредственной близости от механического насоса. Целесообразно отделить ее от механического насоса и откачиваемого сосуда клапанами и снабдить обводной линией. Откачку откачиваемого сосуда с атмосферно-

го давления лучше производить через эту обводную линию, когда ловушка разобщена с остальной частью вакуумной системы клапанами. Желательно также обеспечить минимальное воздействие на ловушку механических факторов (вибраций). Если ловушка устанавливается в часто вскрываемой системе, то перед вскрытием ее следует наполнять осушенным азотом.

Регенерация сорбента непрогреваемых ловушек производится вне ловушки, для чего пакет с сорбентом извлекается из нее. Процесс регенерации аналогичен регенерации сорбента адсорбционных насосов. Сорбент прогреваемых ловушек регенерируется в самой ловушке. На время регенерации ловушка разобщается с откачиваемым сосудом.

## ГЛАВА ШЕСТАЯ

### ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

#### 6-1. Общие сведения об измерении давления

Единицей измерения давления в системе СИ служит паскаль ( $\text{Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ). Однако очень широко распространена исторически сложившаяся единица измерения давления — миллиметр ртутного столба ( $1 \text{ мм рт. ст.} = 1,33 \cdot 10^2 \text{ Па}$ ).

Измерять давление газа можно непосредственно, определяя силу, действующую на поверхность твердого тела или жидкости. Такие измерения называют абсолютными. В вакуумной технике чаще всего имеют дело с такой степенью разрежения газа, когда трудно непосредственно измерить силу (ввиду ее малости), действующую на поверхность. Поэтому для измерения давления используют различные физические явления, интенсивность которых известным образом зависит от давления. По интенсивности физического процесса судят о давлении. Такие измерения называют косвенными.

Приборы, служащие для измерения давления, называют манометрами. Манометры, предназначенные для измерения давления газа ниже атмосферного, называют вакуумметрами. К абсолютным вакуумметрам, шкалы которых могут быть рассчитаны с помощью основных физических величин (массы, времени, длины и т. д.), относятся U-образный, деформационный и компрессионный вакуумметры. К вакуумметрам косвенного действия относятся тепловые, использующие зависимость теплопроводности разреженного газа от давления, и ионизационные, использующие явление ионизации газа. Тепловые вакуумметры подразделяются на термопарные вакуумметры и вакуумметры сопротивления. Ионизационные вакуумметры подразделяются на электронные, радиоизотопные и магнитные электроразрядные.

Вакуумметры косвенного действия, как правило, состоят из манометрического преобразователя, вырабатывающего выходной электрический сигнал соответственно величине давления газа в преобразователе, измерительного блока — устройства, измеряющего выход-

ной сигнал манометрического преобразователя и обеспечивающего заданный электрический режим его питания, и соединительного кабеля, соединяющего преобразователь с измерительным блоком

Вакуумметр характеризуется диапазоном измеряемых давлений, чувствительностью — отношением изменения выходного сигнала вакуумметра к вызывающему его изменению давления и погрешностью измерений. Кажущаяся большой относительная погрешность вакуумметров, см. приложение 10, вполне приемлема в вакуумной технике и не имеет существенного значения для проведения большинства технологических процессов.

## 6-2. Абсолютные вакуумметры

U-образный вакуумметр, внешний вид которого показан на рис. 6-1, представляет собой стеклянную U-образную трубку, заполненную ртутью или какой-либо другой жидкостью с низкой упругостью пара, например вакуумным маслом. Оба колена трубки соединены между собой трехходовым стеклянным краном. В положе-

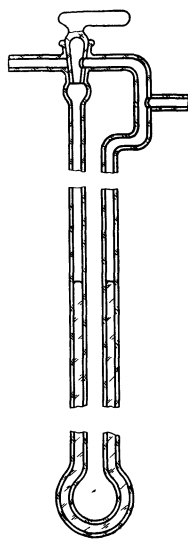


Рис. 6-1. U-образный манометр.

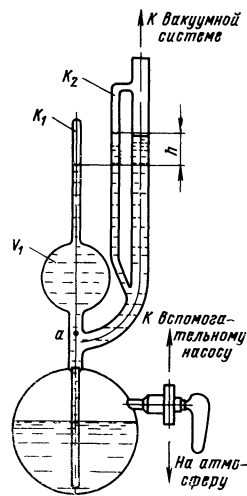


Рис. 6-2. Компрессионный манометр

нии крана, изображенном на рисунке, оба колена сообщаются между собой трехходовым стеклянным краном. Правое колено соединяется со вспомогательным насосом, создающим разрежение  $10^{-1}—1$  Па. В процессе измерения это давление принимается равным нулю. При повороте рукоятки крана на  $180^\circ$  оба колена разобщаются между собой, а левое колено сообщается с сосудом, в котором необходимо

измерить давление. Давление рассчитывается по формуле

$$P = \rho gh, \quad (6-1)$$

где  $\rho$  — плотность рабочей жидкости;  $g$  — ускорение силы тяжести для данной местности;  $h$  — разность уровней рабочей жидкости в обоих коленах вакуумметра

Диапазон давлений, измеряемых ртутным вакуумметром без вспомогательных устройств, повышающих точность измерения разности уровней,  $10^2—10^5$  Па (1—100 мм рт. ст.), масляным —  $1—5 \cdot 10^3$  Па (0,01—50 мм рт. ст.).

Компрессионный вакуумметр Мак-Леода схематично представлен на рис. 6-2. Компрессионным он назван потому, что в нем осуществляется сжатие (компрессия) газа в запаянном капилляре. Основными элементами вакуумметра являются запаянный капилляр  $K_1$  с сосудом  $V_1$ , суммарный объем которых до точки  $a$  в процессе градуировки определяется с большой точностью, и сравнительный капилляр  $K_2$ , диаметр которого, так же как и запаянного капилляра, должен быть постоянен по всей длине и равен диаметру запаянного капилляра.

Чтобы произвести измерение, понижают уровень ртути в вакуумметре ниже точки  $a$ . При этом измерительный капилляр  $K_1$  сообщается с системой, в которой необходимо измерить давление. При последующем повышении уровня ртути в вакуумметре порция газа, равная суммарному объему измерительного капилляра  $K_1$  и сосуда  $V_1$ , при давлении, равном давлению газа в системе, будет отсечена и сжата в запаянном капилляре. По закону Бойля — Мариотта произведение давления определенной порции газа на объем, им занимаемый, есть величина постоянная:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (6-2)$$

Начальный объем  $V_1$  известен, конечный объем  $V_2$  нетрудно рассчитать по известному диаметру капилляра  $K_1$ , а давление  $P_2$  определится разностью уровней ртути  $h$  в измерительном  $K_1$  и сравнительном  $K_2$  капиллярах. Тогда по формуле (6-2) легко рассчитывается искомое давление в вакуумной системе  $P_1$ .

Деформационные вакуумметры в качестве чувствительного элемента имеют герметичную упругую перегородку, способную деформироваться под действием приложенной к ней разности давлений. Наибольшее распространение получили вакуумметры типа МВП, устройство которых схематично показано на рис. 6-3. Упругим чувствительным элементом является трубка эллиптического сечения, свернутая в спираль. Один конец трубки с помощью штуцера присоединяется к вакуумной системе, другой, запаянный конец трубки через

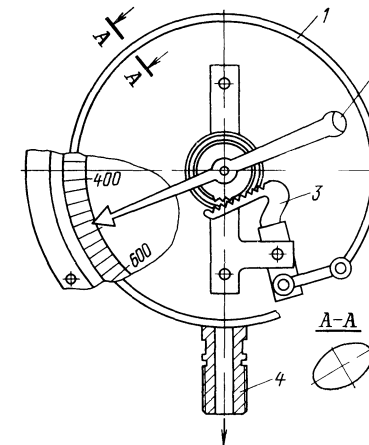


Рис. 6-3. Деформационный вакуумметр.

1 — труба эллиптического сечения, 2 — стрелка; 3 — зубчатый сектор, 4 — присоединительный штуцер

систему рычагов соединен со стрелкой прибора. Угол закручивания упругого элемента и соответственно угол поворота стрелки пропорциональны разности давлений внутри и снаружи упругого элемента.

Деформационный вакуумметр обладает целым рядом преимуществ: удобство в работе с вакуумметром, непосредственность отсчета, безынерционность. Наряду с этим ему присущ существенный недостаток: зависимость показаний вакуумметра от барометрического давления.

Область давлений, измеряемых деформационным вакуумметром, —  $5 \cdot 10^2$ — $10^5$  Па ( $\sim 3$ —750 мм рт. ст.).

Кроме описанного, известны и другие типы деформационных вакуумметров, например мембранные, которые выпускаются для различных диапазонов измеряемых давлений.

### 6-3. Тепловые вакуумметры

Действие тепловых вакуумметров основано на зависимости теплопроводности газа от давления. Основными элементами любого теплоэлектрического манометрического преобразователя являются нагреваемое тело и холодное тело большой теплоемкости и постоянной температуры, между которыми осуществляется передача тепла. Во всех преобразователях нагреваемым телом является нить накала, а телом с постоянной температурой и большой теплоемкостью — корпус прибора.

На рис. 6-4 схематично изображен наиболее распространенный термопарный манометрический преобразователь ПМТ-2. В баллоне 1

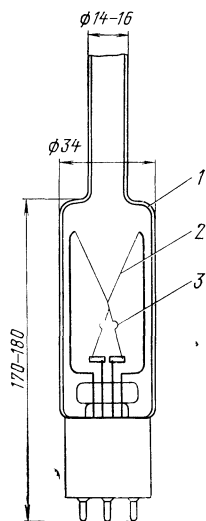


Рис 6-4 Термопарный манометрический преобразователь

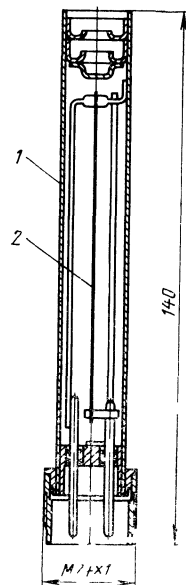


Рис 6-5. Манометрический преобразователь сопротивления ПМТ-6-3.

расположена нить накала 2, к средней лочке которой приварена термопара 3. С помощью измерительного блока вакуумметра через нить накала пропускается электрический ток постоянной величины.

В результате прохождения тока в нити накала выделяется определенное количество тепла. Такое же количество тепла нить должна отдать в результате теплопроводности и излучения, т. е. должен сохраняться баланс подводимого и отводимого тепла.

При изменении давления в баллоне преобразователя, например при его увеличении, теплопроводность газа изменяется (увеличивается). Нить накала при этом остывает. Понижение температуры нити

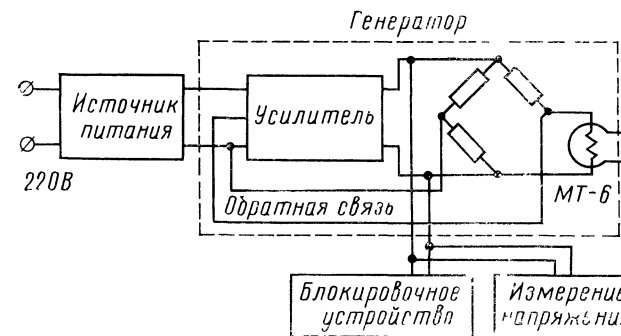


Рис. 6-6. Блок-схема вакуумметра сопротивления.

вызывает уменьшение количества тепла, отводимого в результате теплового излучения и теплопроводности нити. Таким образом, через некоторое время при той же подводимой мощности снова устанавливается баланс, но при меньшей температуре нити. Снижение давления имеет обратное действие, т. е. баланс подводимого и отводимого тепла установится при большей температуре. Температура нити, измеряемая термопарой с помощью измерительного блока вакуумметра, в данном случае будет служить мерой давления.

Другой тип теплоэлектрического манометрического преобразователя — манометрический преобразователь сопротивления МТ-6 — показан на рис. 6-5. Преобразователь представляет собой баллон 1, в центре которого натянута нить накала 2. Действие вакуумметра сопротивления основано на изменении сопротивления нити при изменении ее температуры. Различают три режима работы вакуумметра сопротивления: 1) режим постоянного напряжения; 2) режим постоянной температуры нити; 3) режим постоянного тока. Отечественные вакуумметры работают в режиме поддержания постоянной температуры нити. Включение манометрического преобразователя в измерительную мостовую схему измерительного блока показано на рис. 6-6.

При атмосферном давлении вакуумметр калибруется таким образом, чтобы стрелка прибора стояла на конце шкалы. При понижении давления начнет расти температура нити и сопротивление нити увеличится. Напряжение возникшего разбаланса моста по цепи обратной связи поступит на вход усилителя. Выходное напряжение усилителя, оно же напряжение питания моста, уменьшится. Соответственно уменьшится ток питания преобразователя, и сопротивление

(температура) нити вернется к величине, близкой к исходной. Напряжение питания моста выводится на показывающий прибор вакуумметра и является мерой давления.

Вакуумметры сопротивления работают с большими токами в измерительных цепях, чем терморные вакуумметры, имеют более широкий диапазон измеряемых давлений и в настоящее время представляются более перспективными. Отечественной промышленностью выпускается серия тепловых вакуумметров, основные характеристики которых приведены в приложении 10.

Тепловые вакуумметры применяются для измерения давления любых газов и паров, химически не воздействующих на материал преобразователя. Однако показания вакуумметра зависят от рода газа. Связь давления с показаниями вакуумметра, точнее, соответствия с типовой градуировочной кривой, дается выражением

$$P_r = P_{\text{приб}} \frac{1}{\beta}, \quad (6-3)$$

где  $P_r$  — давление газа в системе;  $P_{\text{приб}}$  — показания вакуумметра в соответствии с типовой градуировочной кривой;  $\beta$  — коэффициент относительной чувствительности.

Таблица 6-1

Относительная чувствительность манометрических преобразователей к разным газам

Газ	Коэффициенты относительной чувствительности к разным газам манометрических преобразователей				
	теплоэлектронных	электронных ионизационных	радиоизотопного МР-8	магнетронных	инверсно-магнетронных
Воздух	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
N <sub>2</sub>	1,0	1,0	0,96	—	—
O <sub>2</sub>	—	1,1*	1,17	1,01	1,1*
H <sub>2</sub>	1,49	0,5*	0,25	0,35*	0,45*
CO <sub>2</sub>	1,06	1,6*	1,58	1,2*	1,3*
He	0,89	0,25*	0,21	0,16	0,16
Ne	0,76	0,35*	0,64	0,3*	0,25*
Ar	0,64	1,5* <sup>2</sup>	1,19	1,4*	1,6*
Kr	0,435	2,1*	1,92	1,8*	2,3*
Xe	—	2,95*	3,02	1,95	3,4
Cl <sub>2</sub>	—	0,80	—	—	—
CH <sub>4</sub>	1,64	1,25*	1,16	—	—
CCl <sub>4</sub>	—	0,70	5,56	—	—
HCl	—	0,38	—	—	—
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1,67	—	1,49	—	—
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,16	—	1,84	—	—
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1,27	—	2,08	—	—
CO	1,03	—	1,11	—	—
H <sub>2</sub> O	—	—	0,86	—	—
H <sub>2</sub> S	1,41	—	—	—	—
SO <sub>2</sub>	1,30	—	—	—	—

\* Среднее значение по разным источникам и различным моделям однотипных манометрических преобразователей.

Коэффициенты относительной чувствительности манометрических преобразователей по разным газам приведены в табл. 6-1.

Показания теплового вакуумметра в соответствии с типовой градуировочной кривой по сухому воздуху отличаются не более чем в 1,5 раза от действительного давления газа в системе при измерении давления большинства газов, в том числе и паров воды.

На точности показаний вакуумметра сказываются отклонения напряжения питающей сети, температура корпуса преобразователя, причем погрешность тем больше, чем выше измеряемое давление. Дополнительная погрешность, вызванная колебаниями температуры окружающей среды, в отдельных случаях может значительно превышать основную погрешность вакуумметров.

У манометрических преобразователей сопротивления в процессе работы наблюдаются постоянный рост сопротивления нити и соответственно дрейф нуля прибора. Особенно сильный дрейф наблюдается после резкого повышения температуры и давления с  $10^{-4}$ — $1$  Па ( $10^{-3}$ — $10^{-2}$  мм рт. ст.) до  $10^2$ — $10^3$  Па (1—10 мм рт. ст.). Причины, вызывающие необратимое старение нити, это уменьшение диаметра нити в результате окисления и испарения и изменение структуры поверхности нити.

Увеличение сопротивления нити ведет к увеличению погрешности измерений, в особенности в области низких давлений. Поэтому периодический контроль сопротивления нити будет весьма полезен. Не следует производить измерения сопротивления нити преобразователя с помощью приборов, аналогичных Ц 435 (тестер), так как большие токи, пропускаемые при этом через нить, могут вызвать перегорание нити, если прибор откачан. Измерения необходимо производить мостовой схемой и приборами с большим внутренним сопротивлением.

В процессе эксплуатации довольно часто наблюдается «замасливание» преобразователя, например, при отсутствии в вакуумной системе защитных ловушек, которое приводит к изменению показаний вакуумметра. Для восстановления характеристик преобразователей их последовательно промывают бензином и ацетоном или спиртом. Преобразователь необходимо промыть сразу после того, как обнаружено его «замасливание». Включение «замасленного» преобразователя при низком давлении, порядка  $10^{-4}$  Па ( $10^{-3}$  мм рт. ст.), может привести к необратимым изменениям характеристик преобразователей.

#### 6-4. Электронные ионизационные вакуумметры

Ионизационные вакуумметры являются лучшими по стабильности метрических характеристик среди вакуумметров косвенного действия. Вакуумметры ВИТ-1, ВИТ-2 и последняя модель ВИТ-3 с электронным ионизационным манометрическим преобразователем ПМИ-2 (рис. 6-7) долгие годы остаются основным средством измерения давления в области высокого вакуума.

Основными элементами электронного ионизационного манометрического преобразователя являются прямонакальный катод, анод-сетка и коллектор ионов. Катод может располагаться как в центре сетки-анода, например в преобразователях ПМИ-2 (рис. 6-7) и ПМИ-3-2 (рис. 6-8), так и с внешней стороны, например, в преобразователе ПМИ-12-8 (рис. 6-9). В первом случае коллектор охватывает анод; во втором — коллектор располагается по оси преобразователя. Электрические потенциалы электродов таковы, что они

создают для электронов ускоряющую разность потенциалов в пространстве между анодом и катодом и замедляющую разность потенциалов в пространстве между анодом и коллектором ионов, причем замедляющая разность потенциалов по величине больше ускоряющей разности потенциалов. Обычно коллектор имеет нулевой потенциал, анод — высокий положительный, катод — небольшой положительный потенциал. Питание манометрического преобразователя осуществляется измерительным блоком вакуумметра

Электронный ионизационный манометрический преобразователь действует следующим образом. Накаленный прямым пропуском тока катод испускает электроны. Электроны ускоряются в пространстве между катодом и анодом. Большинство электронов пролетает анод-сетку, попадая в замедляющее электрическое поле. Поскольку

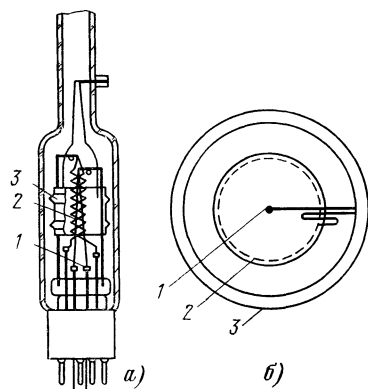


Рис. 6-7. Электронный ионизационный манометрический преобразователь ПМИ-2.

*a* — общий вид; *b* — графтория электронов; 1 — катод, 2 — анод (сетка); 3 — коллектор ионов

замедляющая разность потенциалов больше ускоряющей разности потенциалов, электроны, не долетая до коллектора ионов, изменяют направление движения. Затем, приобретая скорость в направлении к аноду, электроны вновь пролетают анод-сетку, тормозятся около катода и вновь направляются к аноду. Таким образом, электроны совершают колебательные движения около анода, как это показано на рис. 6-7,б.

На своем пути электроны производят ионизацию газа. Положительные ионы, образовавшиеся в пространстве между анодом и коллектором ионов, притягиваются последним. При постоянном токе электронной эмиссии, постоянном числе электронов, колеблющихся около анода, количество актов ионизации, т. е. количество образовавшихся ионов, будет пропорциональным концентрации молекул газа в пространстве, т. е. давлению. Таким образом, ионный ток коллектора служит мерой давления газа.

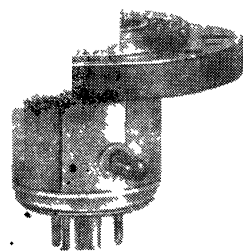


Рис. 6-8. Электронный ионизационный манометрический преобразователь ПМИ-3-2.

Степень ионизации газа электронами зависит от рода газа. Соответственно показания вакуумметра также зависят от рода газа. Связь истинного давления газа с показаниями ионизационного вакуумметра аналогична такой же зависимости для теплового вакуумметра, см. выражение (6-3). Коэффициенты относительной чувствительности ионизационных манометрических преобразователей к разным газам приведены в табл. 6-1

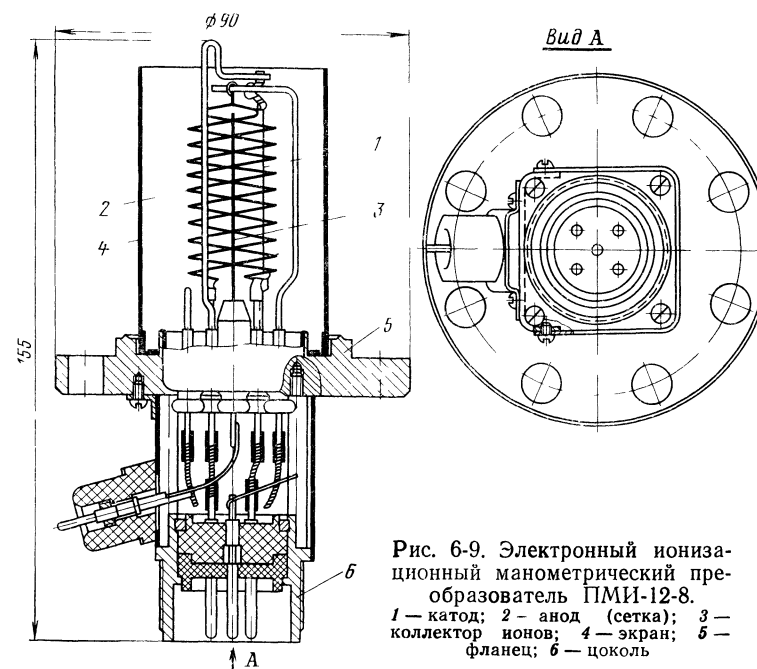


Рис. 6-9. Электронный ионизационный манометрический преобразователь ПМИ-12-8.  
1 — катод; 2 — анод (сетка); 3 — коллектор ионов; 4 — экран; 5 — фланец; 6 — цоколь

Манометрические преобразователи ПМИ-2 и ПМИ-3-2 предназначены для индицирования давления в диапазоне  $1,33 \cdot 10^{-5} - 1$  Па ( $1 \cdot 10^{-7} - 10^{-2}$  мм рт. ст.) и позволяют с вакуумметрами ВИТ-1, ВИТ-2 и ВИТ-3 измерять давления в диапазоне от  $1,3 \cdot 10^{-5}$  Па ( $1 \cdot 10^{-7}$  мм рт. ст.) до  $1 \cdot 10^{-1}$  Па ( $1 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.). Верхний предел измеряемых давлений ограничен перегоранием накаленного катода и нарушением линейности характеристики манометрического преобразователя. Нижний предел ограничен фоновым током, который соответствует давлению  $5 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-6}$  Па ( $4 \cdot 10^{-8} - 6 \cdot 10^{-8}$  мм рт. ст.).

Диапазон давлений, измеряемых вакууметром ВИ-12 с манометрическим преобразователем ПМИ-12 (рис. 6-9) —  $6 \cdot 10^{-8} - 6 \cdot 10^{-3}$  Па ( $5 \cdot 10^{-10} - 5 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст.). Фоновый ток преобразователя соответствует давлению  $2,5 \cdot 10^{-8}$  Па ( $2 \cdot 10^{-10}$  мм рт. ст.).

Электронные ионизационные манометрические преобразователи просты в обращении, удобны в эксплуатации, отличаются высокой стабильностью характеристик и воспроизводимостью показаний. Однако ионизационным манометрическим преобразователям с нака-

Ленным катодом, какими являются описанные выше преобразователи, свойствен существенный недостаток — выход из строя при превышении допустимого давления из-за перегорания катода. (Этот недостаток отсутствует в радиоизотопном ионизационном манометрическом преобразователе.) Перегорание катода является основным видом отказа ионизационного манометрического преобразователя с накаливаемым катодом. В таких преобразователях, как ПМИ-3-2, ПМИ-12-8 и ПМИ-27, этот отказ легко устраним заменой перегоревшего катода. К тому же при необходимости их длительной эксплуатации в области высоких давлений применяют воздухостойкие иридиевые катоды с покрытием из окиси иттрия. Иридиевый катод выдерживает 20—25 кратковременных повышений давления вплоть до атмосферного. В процессе откачки до низких давлений катод восстанавливает свои эмиссионные характеристики.

В процессе работы вольфрамовый катод, наиболее распространенный катод ионизационного манометрического преобразователя, утончается и, наконец, разрушается из-за испарения металла или вследствие его окисления. Скорость испарения вольфрама в рабочем режиме преобразователя и при отсутствии загрязнений невелика, так что срок службы катода, обусловленный его перегоранием, составляет 10—15 тыс. ч. Срок службы катода, обусловленный окислением, значительно меньше и зависит от давления и рода газа. Кислород, реагируя с накаливаемым катодом, образует трехокись вольфрама, которая затем испаряется. Уменьшение диаметра катода примерно на 30% вызывает его перегорание. Срок службы катода, обусловленный окислением, составляет 5—10 тыс. ч при давлении  $10^{-4}$  Па ( $10^{-6}$  мм рт. ст.). Срок службы активированных катодов обуславливается разрушением покрытия и составляет несколько тысяч часов.

Перед установкой преобразователя в вакуумную систему необходимо внешним осмотром убедиться в целостности катода, в отсутствии замыканий между электродами, в правильности взаимного расположения электродов. Особо следует обратить внимание на величину натяга съемного катода. Чрезмерный натяг может ускорить перегорание катода. При недостаточном натяге возможно искривление катода и соответственно изменение электрического поля или нарушение электрического контакта вследствие выпадения катода из катододержателя. При применении воздухостойкого катода преобразователь включают на атмосферу на 15—20 с в рабочем режиме. При этом происходит обгорание защитного лакового слоя.

В процессе эксплуатации необходимо периодически проверять сопротивление изоляции участка коллектор — земля, которое должно составлять  $10^{13}$  Ом для преобразователя ПМИ-12-8 и ему подобных и  $10^{10}$  Ом для преобразователя ПМИ-3-2. Если сопротивление меньше этой величины, изоляторы протирают бязью, смоченной бензином, затем ацетоном, затем протирают сухой бязью, после чего преобразователь сушат в сушильном шкафу при температуре 50—60°C в течение 15—20 мин и вновь проверяют сопротивление.

Для более точного суждения по показаниям вакуумметра о давлении в системе в области низких давлений необходимо принимать во внимание целый ряд факторов. Прежде всего надо учитывать состав газа, чтобы ввести поправку на различную чувствительность преобразователя к разным газам. Следует помнить, что такие газы, как кислород или пары воды, содержащие кислород, вызывают уменьшение тока эмиссии, отравляя катод. Наоборот, пары углево-

дородов вызывают резкое увеличение тока эмиссии. Поэтому непосредственно перед измерением всегда проверяют ток эмиссии.

Широко известно об откачивающем действии ионизационных манометрических преобразователей и о явлениях сорбции на электродах и внутренних поверхностях. Быстрота откачки электронными ионизационными манометрическими преобразователями обычно не превышает 0,01 л/с. Поэтому ошибка, вызванная откачивающим действием преобразователя закрытого типа, составляет небольшую величину. Когда в системе присутствует большое количество углеводородов, которые интенсивно сорбируются внутренними поверхностями преобразователя, показания вакуумметра могут оказаться существенно заниженными.

Противоположное явление — десорбция газа — в силу ограниченной проводимости соединительного патрубка может вызвать значительное повышение давления в колбе манометрического преобразователя и завышенные показания вакуумметра. Десорбция особенно велика сразу после включения катода ввиду резкого повышения его температуры. Для правильного измерения давления преобразователь необходимо обезгазить. По истечении 15—30 мин после прогрева давление в колбе примерно будет соответствовать давлению в системе.

Обезгаживание преобразователей следует производить при низком давлении в системе за 20—40 мин до измерения давления. В обезгаживании преобразователя при высоких давлениях нет необходимости, так как в этом случае относительная ошибка, вызванная сорбционно-десорбционными явлениями, обычно невелика. Более того, обезгаживание и, как правило, нагрев при высоких давлениях повышают интенсивность химических процессов на электродах, что ведет к ускоренному выходу из строя преобразователя. В связи с этим следует считать неправильной практику начала обезгаживания сразу после включения преобразователя, когда в установке еще не достигнут высокий вакуум.

Измерение давления с помощью манометрических преобразователей открытого типа, электродная система которых расположена непосредственно в откачиваемом сосуде, дает большее соответствие с истинным давлением в системе, чем при использовании преобразователей закрытого типа.

## 6-5. Магнитные электроразрядные вакуумметры

Магнитные электроразрядные вакуумметры относятся к ионизационным вакуумметрам. Действие магниторазрядных вакуумметров основано на существовании электрического разряда в вакууме в скрещенных электрическом и магнитном полях. При приложении разности потенциалов в разрядном промежутке между анодом и катодом возникает самостоятельный тлеющий разряд. Сильное магнитное поле служит для увеличения длины пути электронов и поддержания тем самым разряда и увеличения степени ионизации газа. Сила тока разряда в таких приборах является мерой давления в системе.

Существует несколько типов магниторазрядных манометрических преобразователей, например преобразователь с плоскими электродами и разрядной ячейкой по типу разрядной ячейки магниторазрядного насоса диодного типа. Таким преобразователем является двухкамерный преобразователь ММ-13М-4, изображенный на



рис 6-10 Преобразователь имеет два анода и одну общую катодную пластину. Большая камера образована анодом 1 и катодом 2, малая — катодом 2 и малым кольцевым анодом 3. Анодное напряжение от общего источника питания подается на аноды через балластные сопротивления  $R_{61}$  и  $R_{62}$ . При низких давлениях общий разрядный ток определяется током большой камеры, так как ток малой камеры существенно меньше из-за малых размеров ее электродов и расстояния между ними. При повышении давления до  $10^{-2}$  Па ( $10^{-4}$  мм рт. ст.) ток большой камеры ограничивается балластным сопротивлением  $R_{61}$ . В дальнейшем общий разрядный ток возрастает за счет увеличения тока малой камеры, в анодную цепь которой включено значительно меньшее по величине балластное сопротивление  $R_{62}$ .

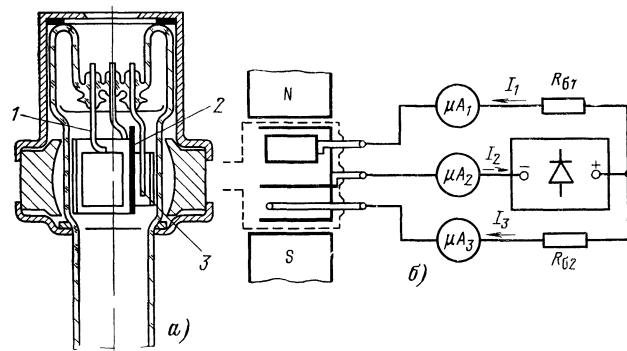


Рис 6-10 Магнитный электроразрядный манометрический преобразователь ММ-13М-4  
а — конструкция, б — схема включения

Другими типами магнитных электроразрядных манометрических преобразователей являются магнетронные и инверсно-магнетронные манометрические преобразователи, имеющие один стержневой и один цилиндрический (часто корпус прибора) электроды. Стержневой электрод, расположенный по оси прибора и магнитного поля, в инверсно-магнетронном преобразователе является анодом, в магнетронном — катодом. Магнетронные вакуумметры пока не нашли широкого промышленного применения. Наоборот, инверсно-магнетронные вакуумметры в последнее время приобретают все большее распространение.

Внешний вид схема электродной системы и характерная форма траектории электронов в инверсно-магнетронном преобразователе ММ-14М представлены на рис 6-11. Электродная система преобразователя монтируется на фланце соединения с металлическим уплотнителем с основным проходом 50 мм. Катод 1 представляет собой цилиндр с закрытыми торцами. Стержневой анод 2 проходит по оси катода через отверстия в его торцевых поверхностях. Вся электродная система в корпусе прибора помещается в осевое магнитное поле. На анод подается высокое напряжение. В цепь катода включается вход усилителя постоянного тока.

Под действием скрещивающихся электрического и магнитного полей свободные электроны, образовавшиеся в разрядном промежутке, движутся по замкнутым гипоциклоидам. При столкновении с молекулой газа электрон теряет часть энергии и его траектория смещается ближе к аноду, как это показано на рис 6-11, в. Электроны попадают на анод, произведя по меньшей мере один акт ионизации газа. В подобных манометрических преобразователях разряд поддерживается при давлениях до  $10^{-12}$ — $10^{-11}$  Па ( $10^{-14}$ — $10^{-13}$  мм рт. ст.).

Ток автоэлектронной эмиссии со втулок 3 экрана 4 облегчает возникновение разряда при низких давлениях. Для усиления этого эффекта на втулках имеются четыре иглы с острями, направленными к аноду. С другой стороны, экран со втулками препятствует прохождению тока автоэлектронной эмиссии с торцов катода на анод, снижая тем самым фоновый ток преобразователя и расширяя рабочий диапазон прибора в сторону более низких давлений.

Образовавшиеся в результате ионизации газа положительные ионы в силу своей большой массы практически прямолинейно движутся к катоду, являющемуся одновременно коллектором ионов. По величине ионного тока судят о концентрации молекул газа в разрядном промежутке преобразователя, т. е. о давлении газа в системе. Фоновые токи, токи автоэлектронной эмиссии в измерительной цепи катода не регистрируются, поскольку они замыкаются в цепи экран — анод.

Аналогичны по принципу действия разборные конструкции манометрических преобразователей ПММ-22 и ПММ-32-1, схематично изображенные на рис 6-12 и 6-13. Разборность конструкции делает возможным механическую очистку преобразователя в случае загрязнения его органическими соединениями.

Загрязнение продуктами разложения и полимеризации органических соединений с образованием пленок на внутренних поверхностях прибора отрицательно действует на магнитные электроразрядные манометрические преобразователи. Поэтому не следует устанавливать эти преобразователи в незащищенные ловушками вакуумные системы с масляными насосами. Под действием электронной бомбардировки

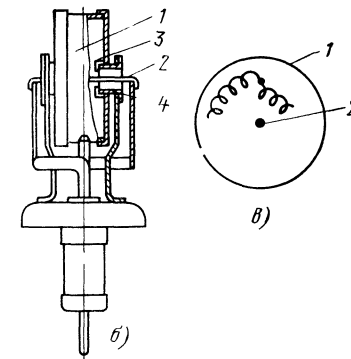
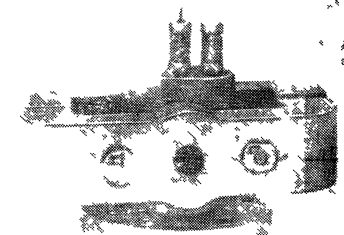


Рис 6-11. Инверсно-магнетронный манометрический преобразователь ММ-14М

а — внешний вид; б — электродная система, в — траектория электронов, 1 — катод, 2 — анод

ровки ионы молекул масла, осевшие на аноде, полимеризуются, что приводит к снижению разрядного тока, а затем и к прекращению разряда. На катоде пленок углеводородов не образуется, так как они распыляются ионной бомбардировкой в процессе работы прибора. Рекомендуемая периодичность очистки прибора от загрязнений пленками органических соединений — не чаще чем через 500 ч работы прибора.

В оригинальной конструкции магнитного манометрического преобразователя ММ-28, имеющего два кольцевых анода, питаемых переменным током, пленок на анодах не возникает, так как они в процессе работы попеременно подвергаются ионной бомбардировке.

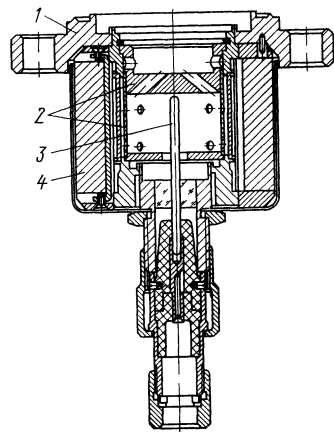


Рис. 6-12. Инверсно-магнетронный манометрический преобразователь ПММ-22.

1 — соединительный фланец; 2 — катод; 3 — анод; 4 — постоянный магнит.

Ресурс преобразователя ММ-28, входящего в состав вакуумметра ВЭМБ-1, в системах, не имеющих защиты от проникновения паров органических соединений, составляет без чистки не менее 4000 ч.

Разборные конструкции преобразователей подвергаются механической очистке с последующей промывкой бензином и ацетоном и сушкой прибора. Неразборные конструкции, если промывка бензином и ацетоном не дает необходимого эффекта, подвергаются промывке соляной кислотой с последующей тщательной промывкой и сушкой.

В вакуумметрах с неразборными преобразователями для очистки их поверхностей от загрязнения, как правило, предусмотрена возможность прогрева и эффективной электронной бомбардировки электродов прибора, производимых в процессе работы установки. Производя прогрев и электронную бомбардировку, ток прогрева и интенсивность бомбардировки увеличивают постепенно во избежание перегорания накаливаемого анода в результате резкого повышения давления в приборе в начале прогрева.

Обезгаживание магниторазрядных преобразователей, так же как и электронных, следует производить при высоком вакууме и только

переменным током, пленок на анодах не возникает, так как они в процессе работы попеременно подвергаются ионной бомбардировке.

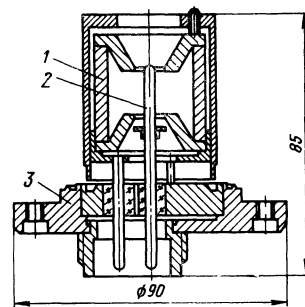


Рис. 6-13. Инверсно-магнетронный манометрический преобразователь ПММ-32-1.

1 — катод; 2 — анод; 3 — соединительный фланец.

в том случае, если необходимо измерять давление в области высокого и сверхвысокого вакуума. Некоторое время после обезгаживания преобразователь обладает сильным откачивающим действием. Ошибка, вызванная откачивающим действием, для открытых преобразователей может достигать несколько процентов, для преобразователей закрытого типа — 20% и более. Ошибка измерения, вызванная газовой выделением в случае недостаточного обезгаживания прибора, имеет противоположный знак и по величине обычно намного превосходит ошибку, вызванную откачивающим действием прибора.

Показания магниторазрядных вакуумметров зависят от рода газа, причем коэффициенты относительной чувствительности к разным газам близки по значению к тем же коэффициентам для электронных ионизационных преобразователей, см. табл. 6-1. Показания вакуумметра также зависят от состояния преобразователя и напряженности магнитного поля. Поэтому во избежание изменения напряженности магнитного поля к преобразователям нельзя подносить ферромагнитные тела на расстояние менее 100 мм. В процессе эксплуатации необходимо периодически контролировать сопротивление утечки изоляторов, обуславливающие дополнительный фоновый ток, а также полезно контролировать напряженность магнитного поля.

Рабочий диапазон магнитных электроразрядных вакуумметров определяется в основном конструкцией преобразователя, обеспечивающей те или иные условия возникновения и поддержания разряда. Основные технические характеристики вакуумметров приведены в приложении 10.

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ

### ТЕЧЕЙСКАНИЕ

#### 7-1. Общие сведения

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

Герметичность — свойство вакуумной системы, заключающееся в непроницаемости для газов и жидкостей внешней оболочки, ограничивающей замкнутый объем. Степень герметичности оболочки системы характеризуется общим потоком воздуха, перетекающего в единицу времени из атмосферы в вакуум через все имеющиеся в оболочке течи при нормальных условиях. Нормальными условиями считаются атмосферное давление, равное  $10^5 \pm 4/10^3$  Па ( $750 \pm \pm 30$  мм рт. ст.); температура окружающей среды, равная  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Место нарушения сплошности оболочки называют течью. Это обычно микроразрывы в самом материале оболочки и в сварных швах, риски на рабочей поверхности фланцев и металлических уплотнителей, образующие сквозной канал с выходом на обе стороны оболочки. Величина течи, так же как и степень герметичности, характеризуется потоком воздуха, перетекающего через течь в единицу времени при нормальных условиях.

В вакуумной технике количество газа, натекающего в систему, часто характеризуют произведением объема проникшего газа  $V$  на его давление  $P$ . Количество газа, проникшего в систему, деленное на время натекания, определяет поток газа.

В системе СИ основными единицами объема, давления и времени являются метр кубический ( $\text{м}^3$ ), паскаль, равный ньютону, де-

ленному на метр квадратный ( $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ ), и секунда (с). Отсюда поток будет выражаться:

$$\frac{[\text{м}^3]}{[\text{с}]} \left| \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right| = \frac{[\text{Н} \cdot \text{м}]}{[\text{с}]} = \frac{[\text{Дж}]}{[\text{с}]} = [\text{Вт}].$$

До настоящего времени в вакуумной технике, в частности в теченскании, еще широко применяется в качестве единицы измерения потока газа литр на микрон ртутного столба в секунду ( $\text{л} \cdot \text{мкм рт. ст}/\text{с}$ ), равный  $1,33 \cdot 10^{-4}$  Вт.

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

- 1) контроль герметичности — технологическая операция, служащая для установления степени герметичности изделия,
- 2) поиск течи — операция, заключающаяся в обнаружении и установлении мест расположения единичных течей.

Для установления степени герметичности системы с одной стороны оболочки подают пробное вещество — газ или жидкость, легко выделяемые (идентифицируемые) в окружающей среде или в составе остаточного газа. С другой стороны, оболочки фиксируют появление и количественное изменение содержания пробного вещества.

По способу создания потока и идентификации пробного вещества различают следующие методы контроля герметичности: метод опрессовки, люминесцентный метод, метод искрового разряда, манометрический метод, галогенный метод, масс-спектрометрический метод [4] и некоторые другие. В вакуумной технике наибольшее распространение получили масс-спектрометрический и манометрический методы в различных модификациях.

## 7-2. Манометрический метод

Манометрический метод наиболее прост и удобен для оценки степени герметичности вакуумной системы, имеющей собственные средства откачки и измерения давления, так как не требует специального оборудования. Для контроля герметичности может быть использован любой манометрический преобразователь, имеющийся в системе. Этим методом может быть определено суммарное натекание в систему и могут быть выявлены единичные течи.

Для определения суммарного натекания испытываемую вакуумную систему разобщают со средствами откачки и строят график изменения давления в изолированной вакуумной системе. Возможны три зависимости изменения давления во времени в изолированной вакуумной системе. Зависимость 1, изображенная на рис. 7-1, свидетельствует о сильном натекании; зависимость 3 — об отсутствии натекания. В последнем случае изменение давления в вакуумной системе обусловлено газовыделением, которое по мере увеличения давления уменьшается. После достижения динамического равновесия давление в системе стабилизируется. Кривая 2 отвечает условию, когда изменение давления в системе от  $P_0$  до  $P_1$  является суммарным результатом газовой выделения и натекания. В дальнейшем давление в системе, обусловленное в основном натеканием, увеличивается во времени линейно. Зная объем системы, изменение давления  $\Delta P$  на линейном участке кривой и время  $\Delta t$ , за которое произошло

изменение давления, легко рассчитать величину суммарного натекания

Для поиска течей могут быть использованы любые манометрические преобразователи, показания которых зависят от рода газа, например электронные ионизационные и термоэлектрические. Поиск течей сводится к следующему. После установления давления в вакуумной системе подозреваемое в натекании место обдувают пробным газом или смачивают жидким пробным веществом. Изменение показаний вакуумметра свидетельствует о наличии течи. Наибольший эффект дает работа с жидкими пробными веществами: ацетоном, спиртом и эфирами. Небольшие количества жидкости, проникшие в вакуумную систему через течь, испаряясь в вакууме, резко увеличивают общее давление в системе.

Поиск течей с помощью жидких пробных веществ наряду с большой эффективностью имеет свои неудобства. Подъем жидкости по капилляру малых течей, меньших  $10^{-7}$  Вт ( $10^{-3}$  л·мкм рт. ст/с), происходит за время от нескольких минут до нескольких часов. Поэтому вакуумметр может среагировать на пробное вещество в тот момент, когда будет обследоваться уже другой участок поверхности. Тем самым возникнет ложное представление о месте расположения течи. Чтобы убедиться в правильности обнаружения места расположения течи, удаляют пробное вещество (если имеется возможность, прогревают контролируемую поверхность, например, легким пламенем горелки) и после установления давления в системе повторяют испытания.

Работа с газообразными пробными веществами не так эффективна. Меньше изменение показаний вакуумметра, но реакция вакуумметра на газ возникает практически мгновенно в силу высокой проникающей способности газа.

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

Поиск течей целесообразно вести, когда стрелка показывающего прибора вакуумметра находится в конце шкалы прибора. Если стрелка вакуумметра находится в начале шкалы, целесообразно несколько снизить быстроту откачки, прикрыв высоковакуумный затвор, и переключить вакуумметр на более грубый диапазон. При этом относительная минимальная регистрируемая величина изменения показаний вакуумметра будет увеличена.

## 7-3. Контроль герметичности с помощью галогенного теческателя

Галогенный метод контроля герметичности и поиска течей основан на свойстве накаленной платины в присутствии галогенов или галогенсодержащих веществ (фреона, хлористого метила и др.)

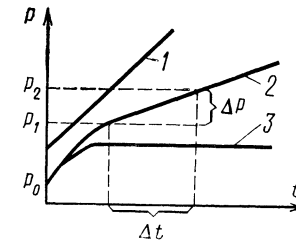


Рис. 7-1. Изменение давления во времени в изолированной вакуумной системе

резко увеличивать эмиссию положительных ионов. Увеличение эмиссии регистрируется электроизмерительными приборами. На этом принципе построен галогенный теческатель Галогенные теческатели — это простые, малогабаритные, высоконадежные приборы, удобные в эксплуатации (рис 7-2). Чувствительным элементом галогенного теческателя является платиновый диод с анодом, нагретым до высокой температуры прямым пропусканием переменного тока. Такой прибор работает как при атмосферном давлении, так и в вакууме. В комплект галогенных теческателей входят атмосферный и вакуумный датчики.

С вакуумным датчиком осуществляется контроль вакуумных систем с собственными средствами откачки методом обдува. Датчик устанавливается в форвакуумную линию над клапаном, разделяющим низковакуумный и высоковакуумный насосы. Производится

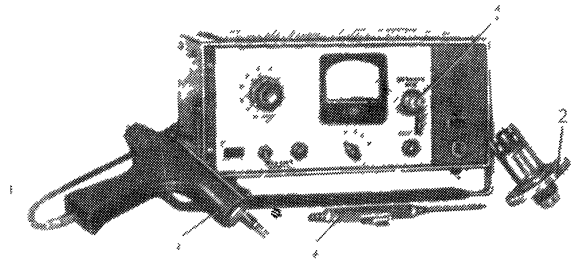


Рис 7-2. Галогенный теческатель ГТИ-6 со встроенной калиброванной течью ГАЛОТ-1  
1 — калиброванная течь; 2 — вакуумный датчик; 3 — атмосферный датчик, 4 — обдуватель

откачка системы до давления  $10^{-1}$  Па ( $10^{-3}$  мм рт. ст.). Контролируемые поверхности обдувают галогенсодержащим газом. В качестве пробного газа лучше применять фреон-13, фреон-12 или фреон-22, так как они дешевы, безвредны и взрывобезопасны.

При быстроте откачки в месте расположения датчика 1 л/с теческатель обеспечивает регистрацию потока фреона-12 на уровне  $10^{-9}$  Вт. С фреоном-13 чувствительность несколько выше. Увеличение быстроты откачки пропорционально уменьшает чувствительность теческания. Следовательно, для обеспечения максимальной чувствительности испытаний дросселированием вакуумного клапана, расположенного между форвакуумным и высоковакуумным насосами, необходимо устанавливать минимальную быстроту откачки, обеспечивающую нормальную работу высоковакуумного насоса.

Чувствительность испытаний может быть существенно повышена при расположении датчика в высоковакуумной части испытуемой системы, откачиваемой до давлений ниже  $5 \cdot 10^{-2}$  Па ( $5 \cdot 10^{-4}$  мм рт. ст.). Нормальная работа вакуумного датчика на стороне высокого вакуума возможна только при непрерывном поступлении кислорода к датчику. В последней модели галогенного теческателя ГТИ-6 предусмотрен специальный источник кислорода. Для удобства по-

становки в систему вакуумный датчик выполнен не в трубке, как в предыдущих моделях, а на фланце.

При попадании в датчик больших количеств галогенов он теряет свою чувствительность — отравляется. Для восстановления датчика в испытуемую систему вводят поток чистого воздуха, увеличивая давление в системе до  $10^1$  Па ( $10^{-1}$  мм рт. ст.). Чтобы ускорить процесс восстановления датчика, повышают накал анода.

Во время испытаний между датчиком и испытуемой системой, а также в самой системе не должно быть охлажденных поверхностей (вымораживающих ловушек).

С атмосферным датчиком осуществляется контроль герметичности систем, допускающих опрессовку галогенсодержащим газом. В испытуемое изделие подается пробный газ под избыточным давлением. Внешняя поверхность ощупывается атмосферным датчиком.

Следует различать понятия чувствительности теческателя и чувствительности испытаний. Под чувствительностью теческателя понимается реакция теческателя на определенный установившийся поток пробного газа, проходящего через датчик. В реальных условиях испытаний не весь газ, вытекающий через течь, захватывается щупом (насадком на конце атмосферного датчика) теческателя, что определяется степенью приближения щупа к контролируемой поверхности. Для установления максимальной концентрации пробного газа в датчике, соответствующей поступающему в него потоку пробного газа, необходимо некоторое время. При постоянном перемещении щупа по поверхности поступление пробного газа в датчик начнет уменьшаться в результате удаления его от течи прежде, чем будет достигнута максимальная концентрация. Характер изменения во времени концентрации пробного газа в датчике показан на рис. 7-3. Момент времени  $t_1$  соответствует прохождению щупа над течью. Таким образом, реакция теческателя и соответственно чувствительность испытаний зависят от степени приближения щупа к контролируемой поверхности и от скорости перемещения щупа. Максимальная чувствительность испытаний, равная чувствительности теческателя, достигается в том случае, если остановить щуп над течью. Рекомендуемая скорость перемещения щупа 1 см/с. Щуп должен находиться на расстоянии 0,5 мм от контролируемой поверхности. Это обеспечит регистрацию течи величиной  $10^{-9}$ — $10^{-8}$  Вт ( $10^{-5}$ — $10^{-4}$  л·ммк рт. ст/с).

Как и в случае вакуумного датчика, восстановление отравленного датчика осуществляется прокачкой через датчик больших количеств чистого воздуха при повышенном накале анода.

#### 7-4. Контроль герметичности с помощью масс-спектрометрического теческателя

Наиболее распространенным в вакуумной технике методом контроля герметичности и поиска течей является масс-спектрометрический метод, обладающий высокой чувствительностью. Сущность ме-

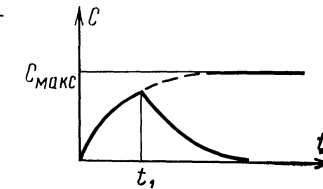


Рис. 7-3. Изменение во времени концентрации пробного газа в датчике теческателя.

тогда заключается в регистрации прохождения через оболочку пробного вещества с помощью масс-спектрометра, настроенного на данное пробное вещество. Отечественной промышленностью выпускается серия масс-спектрометрических теческателей и измерителей концентрации, настроенных на гелий. Основным элементом теческателя является масс-спектрометрический анализатор, представляющий собой масс-спектрометр с магнитным отклонением пучка ионов.

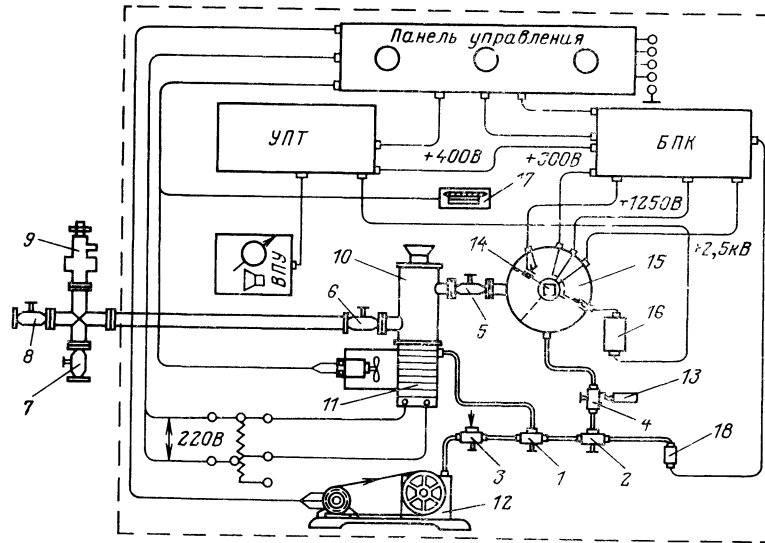


Рис. 7-4 Схема гелиевого теческателя

1—8 — клапаны, 9 — натекаль, 10 — вымораживающая ловушка, 11 — диффузионный паромасляный насос, 12 — механический вакуумный насос с масляным уплотнением, 13 — калиброванная гелиевая течь, 14 — магниторазрядный манометрический преобразователь, 15 — масс-спектрометрическая камера, 16 — выносной электроизмерительный каскад, 17 — вентилятор электронных блоков, 18 — термоманометрический преобразователь, «Панель управления» — основная панель управления, содержащая приборы и переключатели, необходимые для управления работой теческателя и измерения «ускоряющего напряжения» «тока эмиссии», давления в системе и напряжения на нагревателе диффузионного насоса, УЛТ — усилитель постоянного тока, БПК — блок питания масс-спектрометрической камеры и магниторазрядного манометрического преобразователя, ВПУ — выносной пульт управления.

Схема гелиевого теческателя представлена на рис. 7-4. За пределы пунктирного контура вынесены элементы, которые не входят в теческатель, но постановка которых полезна для удобства работы с теческателем.

Пароструйный и механический насосы служат для создания и поддержания в камере теческателя давления  $2,5 \cdot 10^{-5}$ — $2,5 \cdot 10^{-2}$  Па ( $2 \cdot 10^{-5}$ — $2 \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст.). Напряжение на нагревателе пароструйного насоса регулируется автотрансформатором.

Заливная азотная ловушка предназначена для предотвращения попадания паров рабочей жидкости насосов в масс-спектрометриче-

скую камеру, а также для защиты камеры от загрязнения ее конденсирующимися парами и газами, поступающими от испытуемого объекта.

Дросселирующий клапан Ду 32 (поз. 6) служит для сообщения объекта испытания с вакуумной системой теческателя. Клапан Ду 25 (поз. 5) служит для отделения масс-спектрометрической камеры от вакуумной системы теческателя. Необходимость в этом возникает, например, при замене кагода или чистке камеры. Трехходовые клапаны Ду-8 (поз. 1, 2, 3 и 4) служат для управления форвакуумной и предварительной (байпасной) откачкой вакуумной системы механическим насосом, а также для напуска атмосферы в вакуумную систему.

Клапаны устроены таким образом, что два канала клапана на рисунке, расположенные в горизонтальной плоскости, постоянно сообщаются между собой, образуя по существу один сквозной канал. Третий канал может закрываться и открываться, сообщая соответствующие участки вакуумной системы с линией низковакуумной откачки.

Включение теческателя осуществляется в следующей последовательности. Проверяют, все ли клапаны закрыты. Включают общее питание теческателя. Включают механический насос. Включают термоманометрический преобразователь. После достижения разрежения в форвакуумной линии открывают клапан «Пароструйный насос». Включают нагреватель диффузионного насоса, устанавливают необходимое напряжение питания нагревателя. Включают усилитель постоянного тока. Времени выхода на режим диффузионного насоса бывает достаточно и для прогрева электроизмерительного блока. Спустя 30—35 мин с начала включения теческателя заливают жидкий азот в ловушку. О том, что в диффузионном насосе полностью сформировались струи и началась высоковакуумная откачка, можно судить по величине давления в форвакуумной линии. По прошествии 45—50 мин с момента включения диффузионного насоса, времени, достаточного для его разогрева, закрывают клапан «Пароструйный насос», открывают клапан «Камера», производят предварительную откачку масс-спектрометрической камеры. Во избежание сильного замасливания масс-спектрометрической камеры не следует долго оставлять камеру под откачкой механическим насосом. После достижения в ней  $5$ — $8$  Па ( $\sim 5 \cdot 10^{-2}$  мм рт.ст.) следует закрыть клапан «Камера» и открыть клапан «Пароструйный насос». После этого открывают клапан между масс-спектрометрической камерой и диффузионным насосом. При последующем выключении теческателя масс-спектрометрическую камеру оставляют «под вакуумом». Тогда в дальнейшем отпадает необходимость в предварительной откачке камеры механическим насосом, соответственно уменьшается загрязнение ее парами масла механического насоса. (Для удобства работы полезно маховик клапана 5, расположенного между камерой и диффузионным насосом, вынести выше верхней крышки теческателя.) Затем включается магниторазрядный вакуумметр. После достижения рабочего давления в камере включается накал катода ионизатора.

Выключение теческателя осуществляется в обратной последовательности. При этом следует помнить, что ловушку необходимо полностью разморозить при откачке ее диффузионным насосом. При размораживании ловушки клапан 5 должен быть уже закрыт. Клапан «Пароструйный насос» закрывается при остывании нижней части насоса до температуры  $60$ — $80^\circ\text{C}$ . После выключения механического

насоса необходимо открыть клапан «Атмосфера», напустить атмосферный воздух в форвакуумную линию и закрыть клапан

Перед началом испытаний новой партии приборов необходимо произвести градуировку течеискателя. Градуировку следует производить при рабочем давлении в камере с помощью диффузионной гелиевой течи «Гелит», встроенной в течеискатель. Для этого закрывают клапан Ду-32 (поз. 6), выключают катод ионного источника, выключают магнитный электроразрядный вакуумметр, предварительно переключив его на шкалу 2500 мкА. Разобщают масс-спектрометрическую камеру с высоковакуумной откачкой закрытием клапана Ду-25 (поз. 5). Откачивают гелиевую течь до давления 2,5—5 Па ( $\sim 2 \cdot 10^{-2}$ — $3 \cdot 10^{-2}$  мм рт. ст.), открыв для этого клапаны «Камера» и «Гелиевая течь». Закрывают клапан «Камера» и открывают клапан Ду-25 (поз. 5). Включают магниторазрядный вакуумметр и откачивают камеру до давления  $2,5 \cdot 10^{-3}$ — $5 \cdot 10^{-3}$  Па (50—80 мкА по шкале магниторазрядного вакуумметра). Включают катод ионного источника и фиксируют установившиеся показания  $\alpha_T$  стрелочного прибора выносного пульта управления ВПУ. Закрывают клапан «Гелиевая течь». При этом отсчет течеискателя начнет уменьшаться. Рассчитывают чувствительность течеискателя к потоку гелия по формуле

$$S_Q = \frac{Q}{\alpha_T - \alpha_\Phi}, \quad (7-1)$$

где  $S_Q$  — чувствительность течеискателя к потоку гелия;  $Q$  — величина потока гелия калиброванной гелиевой течи.

Чем меньше численная величина  $S_Q$ , тем лучше, так как это означает, что меньшему потоку гелия, поступающему в течеискатель, будет соответствовать больший отсчет течеискателя.

Градуировка течеискателей, в которых отсутствует встроенная течь, осуществляется следующим образом. Через клапан 8 (рис. 7-4) к течеискателю подсоединяется калиброванная гелиевая течь. Через клапан 7 подсоединяется вспомогательный насос. Течеискатель включается в рабочий режим. Вспомогательным насосом через клапаны 7 и 8 производится откачка гелиевой течи до давления 2,5—5 Па ( $\sim 2 \cdot 10^{-2}$ — $3 \cdot 10^{-2}$  мм рт. ст.). Выключается катод масс-спектрометрической камеры. Закрывается клапан 7, открывается дросселирующей клапан 6 течеискателя. Выключается вспомогательный насос. После установления давления в камере фиксируют показания течеискателя  $\alpha_T$ . Закрывают клапан 8 и после стабилизации показаний течеискателя фиксируют фон  $\alpha_\Phi$ . Закрывают клапан 6. Производят расчет чувствительности течеискателя.

Хотя градуировка течеискателя производится по потоку гелия, в действительности его масс-спектрометрический анализатор определяет концентрацию гелия в камере. Соответствие установившейся концентрации гелия в камере и потока гелия, поступающего в течеискатель, устанавливается известной формулой.

$$P_T = \frac{Q_T}{S_T},$$

где  $P_T$  — давление гелия в камере,  $Q_T$  — поток гелия в течеискатель,  $S_T$  — быстрота откачки камеры по гелию

Изменение быстроты действия диффузионного насоса по гелию в зависимости от мощности подогрева насоса открывает возможность для регулирования чувствительности течеискателя. При снижении

мощности подогрева снижается быстрота действия по гелию. При этом быстрота действия по воздуху в широком диапазоне остается практически постоянной. Это позволяет повысить чувствительность течеискателя в результате увеличения давления гелия в камере при том же потоке гелия и сохранении общего давления в камере. При изменении мощности, подводимой к нагревателю пароструйного насоса, должна быть произведена повторная градуировка течеискателя.

С помощью гелиевого течеискателя может производиться как контроль герметичности, так и поиск течей. Для повышения достоверности и обеспечения большей точности измерений градуировку течеискателя следует производить при рабочем давлении в камере, давлении, которое будет в процессе испытаний.

Предельные возможности течеискателя характеризуются минимальным потоком гелия, который регистрируется течеискателем

$$Q = 2\Delta\alpha_\Phi S_Q, \quad (7-2)$$

где  $\Delta\alpha_\Phi$  — максимальная амплитуда флюктуаций фона;  $2\Delta\alpha_\Phi$  — отсчет течеискателя, принимаемый за достоверный.

Расширения предельных возможностей течеискателя (снижения  $Q_{\text{мин}}$ ) можно достичь повышением его чувствительности (снижением численного значения  $S_Q$ ) в результате снижения мощности подогрева пароструйного насоса. Однако следует иметь в виду, что одновременно с повышением чувствительности повышается флюктуация фона. Так, увеличение чувствительности при снижении напряжения на нагревателе насоса ниже 180 В полностью компенсируется увеличением флюктуаций фона течеискателя.

С помощью масс-спектрометрического течеискателя контроль герметичности и поиск течей осуществляются способами обдува и гелиевых чехлов (камер), способом щупа, барокамеры, вакуумных присосок и способом накопления. Способ обдува и гелиевых чехлов 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.

Способы щупа, барокамеры и вакуумных присосок применяются для испытаний изделий, в которых нельзя или нецелесообразно создавать разрежение. В этом случае в изделии создается избыточное давление пробного газа и фиксируется проникновение его на наружную поверхность. Способом вакуумных присосок, кроме того, могут быть испытаны изделия без замкнутой оболочки, например листы металла на сплошность. Способ накопления может явиться разновидностью любого из перечисленных способов, за исключением, пожалуй, способа щупа.

В вакуумной технике как наиболее чувствительные наибольшее распространение получили способы обдува и гелиевых чехлов, причем первый обычно применяется для поиска течей, второй для контроля герметичности. В обоих случаях вакуумная система течеискателя соединяется с вакуумной системой испытываемой установки. Рекомендуется подключать течеискатель в форвакуумную линию испытываемой установки, как это показано на рис. 7-5. Такое подключение обеспечивает максимальную чувствительность испытаний. Подсоединять вакуумную систему течеискателя к испытываемой установке лучше всего гибким металлическим шлангом, при отсутствии такового — резиновым вакуумным шлангом.

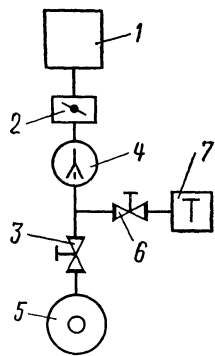


Рис. 7-5. Схема присоединения течеискателя при испытаниях вакуумных систем способом обдува и гелиевых камер (чехлов).

1 — рабочая камера установки (испытуемый объект); 2 — затвор; 3 — клапан; 4 — высоковакуумный (пароструйный) насос; 5 — низковакуумный (механический с масляным уплотнением) насос; 6 — дросселирующий клапан течеискателя, 7 — течеискатель.

Испытания проводятся в следующей последовательности. В испытуемой установке создают рабочее давление. При создании разрежения в вакуумной системе трубопровод, соединяющий вакуумную установку с течеискателем, также должен быть откачан до дросселирующего клапана 6 течеискателя. Затем открывают клапан 6 и устанавливают рабочее давление в масс-спектрометрической камере течеискателя. Если клапан 6 полностью открыт и показания магниторазрядного вакуумметра течеискателя меньше 350 мкА, закрывают клапан 3, направляя весь поток газа, откачиваемого высоковакуумным насосом установки, через вакуумную систему течеискателя. Этим обеспечивается максимальная чувствительность испытаний, в пределах равная чувствительности течеискателя. Включают катод масс-спектрометрической камеры течеискателя и производят обдув гелием испытуемой установки, начиная с той точки рабочей камеры установки, которая наиболее удалена по схеме вакуумной системы испытуемой установки от низковакуумного насоса и которая находится выше других в пространстве, постепенно приближаясь к низковакуумному насосу как по схеме вакуумной системы, так и по расположению в пространстве обследуемых участков оболочки вакуумной системы.

Обдув производят с помощью обдувателя, входящего в комплект течеискателя, присоединяемого к баллону с гелием. На практике не всегда имеется возможность разместить баллон с гелием. Тогда удобно пользоваться медицинской кислородной подушкой, заполненной гелием. При отсутствии обдувателя в качестве такового может быть использована игла от медицинского шприца или тонкая, сплюснутая на конце металлическая трубка.

Проводя испытания разветвленных вакуумных систем с большой длиной соединительных трубопроводов способом обдува, необходимо учитывать временные характеристики течеискателя и высоковакуумного насоса испытуемой установки. Начиная с момента поднесения струи гелия к течи, содержание его в рабочей камере испытуемой установки увеличивается. Общее количество гелия в высоковакуумной части испытуемой установки определится разностью потоков гелия, поступающего через течь и удаляемого в результате откачки.

Характер изменения концентрации пробного газа в течеискателе при обдуве испытуемой установки будет аналогичен изменению концентрации пробного газа в галогенном течеискателе при испытаниях способом щупа (см рис 7-3).

Для обеспечения эффективного поиска течей скорость перемещения обдувателя должна быть равна 1 см/с для большинства реальных условий испытаний. Снижение скорости перемещения обдувателя неоправданно увеличит длительность испытаний; увеличение ско-

рости перемещения обдувателя может привести к пропуску малых течей.

Способ щупа в масс-спектрометрическом методе, так же как и способ обдува, применяется для поиска течей. Для осуществления этого способа к течеискателю через вакуумный шланг присоединяется щуп. Устанавливается такой поток газа через щуп, чтобы в масс-спектрометрической камере течеискателя поддерживалось рабочее давление. Испытания проводятся так же, как и испытания с применением галогенного течеискателя.

Способ барокамеры отличается тем, что изделие, заполненное пробным газом, помещается в барокамеру, в которой создается разрежение и к которой подключается течеискатель. Этим способом осуществляются операции контроля герметичности, позволяющие численно охарактеризовать суммарное истечение пробного газа из изделия.

Способ вакуумных присосок нашел широкое распространение в вакуумной технике для контроля герметичности элементов вакуумных систем до постановки их в установку и в процессе изготовления. Испытания способом вакуумных присосок проводятся обязательно со вспомогательным низковакуумным насосом, который подсоединяется через клапан 7 (см. рис. 7-4). Через клапан 8 гибким шлангом присоединяется к течеискателю вакуумная присоска. Конструкция вакуумных присосок бывает самая различная в зависимости от формы проверяемых поверхностей. Для проверки плоскости это обычно металлический лист необходимого контура с приклеенным к нему по контуру резиновым уплотнителем достаточно большой высоты. Наибольшее распространение получили присоски в виде металлического стакана (рис. 7-6).

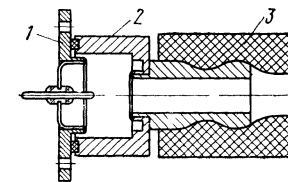


Рис. 7-6. Контроль герметичности электрического ввода с помощью вакуумной присоски.

1 — проверяемое изделие; 2 — вакуумная присоска; 3 — резиновый вакуумный шланг для присоединения к течеискателю.

Испытания проводятся в следующей последовательности. Испытуемое изделие слегка прижимают к уплотнителю присоски. Вспомогательным насосом производят откачку внутренней полости присоски. При этом атмосферное давление прижимает испытуемое изделие к присоске, обеспечивая надежное уплотнение. Плавно открывают дросселирующий клапан течеискателя. Закрывают клапан, сообщаящий присоску со вспомогательным насосом. Проводят испытания.

В зависимости от цели испытаний — поиск течи или контроль герметичности — обдувают испытуемое изделие гелием или создают вокруг него гелиевую камеру.

Часто для увеличения надежности создания уплотнения поверхности соприкосновения испытуемого изделия и уплотнителя присоски смачивают вакуумным маслом. Чрезмерное смачивание маслом вредно, так как случайно маслом может быть перекрыта течь. Смачивать лучше только торцевую поверхность уплотнителя.

Для осуществления способа накопления к клапану 7 (см. рис. 7-4) присоединяют вспомогательный насос с относительно большой быстротой действия по воздуху и малой быстротой действия по гелию, например цеолитовый насос. Дросселирующий клапан 6 те-

течeskателя заменяют клапаном с малым временем открытия и закрытия, например клапаном с эксцентриковым приводом. Эксцентриковый клапан можно ставить и последовательно с клапаном в теческатель. Испытуемое изделие присоединяют непосредственно к клапану 8 или через короткий трубопровод. В соединительной коммуникации между испытуемым изделием, вспомогательным насосом и теческательем устанавливают средства измерения давления.

Способ накопления обычно совмещают со способом гелиевых камер. Испытания проводят в следующей последовательности. В крупносерийном производстве испытуемое изделие помещают в герметичную камеру. В лабораторной практике и в единичном производстве вокруг присоединенного к теческателью испытуемого изделия создают чехол, например, из полиэтилена или другого аналогичного материала. Край чехла дальше проверяемой поверхности закрепляют липкой полихлорвиниловой лентой. Затем включают теческатель (теческатель может быть включен заранее). При закрытом эксцентриковом клапане откачивают испытуемое изделие до давления не выше рабочего давления в масс-спектрометрической камере теческателя. Открывают эксцентриковый клапан. Фиксируют фоновый отсчет теческателя. Закрывают эксцентриковый клапан. В камеру (или чехол) под незначительным избыточным давлением подают пробный газ — гелий. Фиксируют время его подачи. По истечении времени накопления открывают эксцентриковый клапан и фиксируют максимальный отсчет теческателя. По разности показаний теческателя оценивают величину натекания гелия в изделие.

Перед испытаниями производят градуировку метода испытаний. Для этого на изделии устанавливают калиброванную гелиевую течь. Последовательность операций при градуировке аналогична последовательности при испытаниях. Как и при испытаниях, фоновым отсчетом являются установившиеся показания теческателя при открытом эксцентриковом клапане.

Применением способа накопления можно в десятки и сотни раз повысить чувствительность испытаний, проводимых с применением масс-спектрометрического теческателя методами обдува и гелиевой камеры.

## ГЛАВА ВОСЬМАЯ

### ВАКУУМНЫЕ УСТАНОВКИ

#### 8-1. Типовые схемы и последовательность запуска

Получение вакуума само по себе никогда не является самоцелью. Вакуум необходим для осуществления той или иной технологической операции изготовления изделия, для проведения физического эксперимента, для обеспечения условий работы электронных приборов и во многих других случаях. Многообразие конкретных условий применения вакуума обуславливает многообразие требований, предъявляемых к вакуумным системам в от-

ношении производительности, давления и состава остаточного газа. Назначение вакуумной системы определяет схему ее построения и применение тех или иных элементов.

Существуют вакуумные установки с рабочей камерой и без нее. К первому типу установок, когда рабочая камера входит в состав установки, относятся большинство лабораторных установок, печи отжига, установки вакуумной обработки материалов, сублимационные установки и ряд других установок. Вакуумными установками без рабочей камеры, как правило, являются откачные посты для изготовления электровакуумных приборов. В этом случае для присоединения обрабатываемого изделия в установке имеется специальное гнездо или фланец. Наличие или отсутствие рабочей камеры не изменяет схемы вакуумной системы.

Как уже известно, все вакуумные насосы подразделяются на газоперемещающие, в которых осуществляется перемещение массы газа со входа к выхлопному патрубку насоса, и сорбционные, в которых газ связывается в самом насосе. Это принципиальное отличие двух классов насосов обусловило принципиальное отличие построения вакуумных систем на их основе. Вакуумные системы на базе газоперемещающих насосов имеют последовательную схему соединения низковакуумных и высоковакуумных насосов. Вакуумные системы на базе сорбционных насосов имеют параллельную схему соединения насосов. Типовые схемы вакуумных систем приведены в табл. 8-1. Принятые в схемах обозначения приведены в приложении 11.

Схема вакуумной системы определяется основным высоковакуумным насосом, а конструкция — насосом, рабочей камерой и требуемым рабочим давлением. По степени создаваемого разрежения вакуумные установки подразделяются на низковакуумные, высоковакуумные и сверхвысоковакуумные.

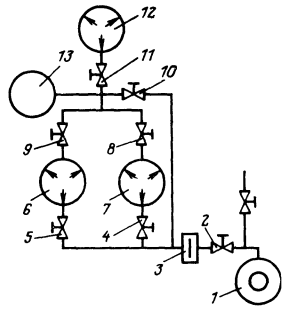
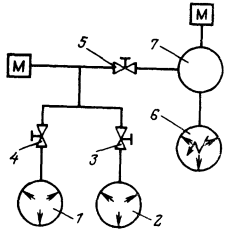
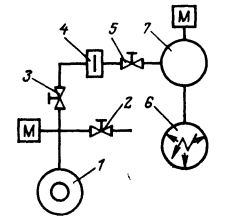
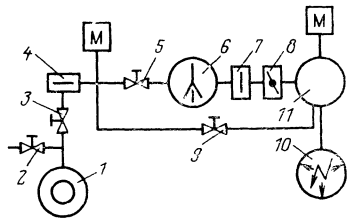
Требуемая степень разрежения в сочетании с производительностью насоса определяет требования к герметичности и суммарному газовыделению конструктивных материалов, а также применимость тех или иных элементов вакуумной системы. Так, например, запорная арматура и соединения элементов низковакуумных установок выполняются с эластомерными уплотнителями, высоко- и сверхвысоковакуумных установок — с метал-



## Типовые схемы высоко

## вакуумных систем

Основной насос	Схема вакуумной системы		Краткая характеристика	Примечания
	общая	упрощенная, часто применяемая		
1. Турбомолекулярный			Высоковакуумная система промышленных и лабораторных установок	
2. Диффузионный			<p>Высоковакуумная система промышленных и лабораторных установок</p> <p>В прогреваемом варианте с фланцевыми соединениями с металлическими уплотнителями остаточное давление до <math>10^{-8}</math> Па</p> <p>В непрогреваемом варианте с эластомерными уплотнителями во фланцевых соединениях остаточное давление <math>5 \cdot 10^{-5}</math> Па</p>	<p>Нерекомендуемая к применению схема вакуумной системы</p>
3. Адсорбционный			<p>Низко- и средневакуумная система промышленных и лабораторных установок</p> <p>Остаточное давление при последовательной откачке двумя насосами с атмосферного давления — <math>10^{-3}</math>—<math>10^{-2}</math> Па</p> <p>При регенерации адсорбционных насосов при откачке вспомогательным низковакуумным насосом и последовательной откачке сосуда двумя насосами предельное остаточное давление ниже <math>10^{-5}</math> Па</p>	<p>Запорная арматура и фланцевые соединения, за исключением низковакуумной части вспомогательного насоса, обычно выполняются с металлическими уплотнителями</p>

Основной насос	Схема вакуумной системы	
	общая	упрощенная, часто применяемая
4. Адсорбционный		—
5. Магнитный электроразрядный		—
6. Магнитный электроразрядный		—
7. Геттернонный или геттерный		—

Краткая характеристика	Примечания
<p>Высоковакуумная система лабораторных и промышленных специального назначения установок                      Остаточное давление <math>10^{-7} - 10^{-6}</math> Па                      Высоковакуумная часть прогреваемая</p>	
<p>Сверхвысоковакуумная прогреваемая система преимущественно лабораторных и промышленных установок специального назначения                      Остаточное давление <math>10^{-9} - 10^{-7}</math> Па</p>	—
<p>Высоковакуумная прогреваемая система промышленных установок                      Остаточное давление <math>10^{-7}</math> Па                      Низковакуумная часть выполнена с эластомерными уплотнителями, высоковакуумная с металлическими уплотнителями</p>	Обычно применяется в автоматизированных установках
<p>Высоковакуумная прогреваемая система лабораторных и промышленных специального назначения установок                      Остаточное давление <math>10^{-9} - 10^{-8}</math> Па</p>	Диффузионный насос служит для создания предварительного разрежения и подкачки инертных газов

Основной насос	Схема вакуумной системы	
	общая	упрощенная, часто применяемая
8. Магнитный электроразрядный		—

Краткая характеристика	Примечания
Высоковакуумная система, выполненная по схеме „вакуум в вакууме“ и предназначенная для автоматизированных установок	—

лическими уплотнителями. В низковакуумных и высоковакуумных установках применимы вводы движения с вильсоновским уплотнением. Однако в большинстве высоковакуумных и сверхвысоковакуумных установок используются вводы движения с сильфонной разделительной перегородкой и различные магнитные муфты и приводы. В сверхвысоковакуумных всегда предусматривается прогрев всей высоковакуумной части установки, чего никогда не бывает в низковакуумных установках.

Вакуумные системы с турбомолекулярными насосами по схеме табл. 8-1, п.1, относят к безмасляным системам. Действительно, если запуск турбомолекулярного насоса производится с давления  $10^1$  Па ( $10^{-1}$  мм рт. ст.) и предварительная (байпасная) откачка откачиваемого сосуда механическим насосом производится до давления не ниже  $10^1$  Па ( $10^{-1}$  мм рт. ст.), то обычные в вакуумной технике методы анализа состава газа, например с помощью омегатрона, не обнаруживают тяжелых углеводородов в спектре остаточных газов. Постановка натекателя между затвором и всасывающим патрубком турбомолекулярного насоса упрощает эксплуатацию установки — освобождает оператора от необходимости постоянно следить за работой установки с тем, чтобы своевременно прекратить предварительную откачку во избежание замасливания откачиваемого сосуда.

Подачей дозированного потока воздуха, обеспечивающего на входе форвакуумного насоса давление  $10^1$  Па ( $10^{-1}$  мм рт. ст.), подавляется обратный поток паров масла из низковакуумного насоса. После запуска турбомолекулярного насоса сам насос является хорошей преградой от проникновения паров масла в откачиваемый сосуд, и необходимость в подавлении обратного потока углеводородов отпадает. Подача воздуха во всасывающий патрубок насоса при его остановке ускоряет торможение ротора.

Последовательность запуска установки с турбомолекулярным насосом следующая. Включается низковакуумный механический насос 1, обычно насос с масляным уплотнением. Открывается клапан-натекатель 6. Открываются клапан 2 и затвор 5. Производится откачка всего объема до давления  $10^1$  Па ( $10^{-1}$  мм рт. ст.). Включается турбомолекулярный насос 4. Закрывается натекатель 6.

Выключение установки осуществляется в следующей последовательности. Закрывается затвор 5. Выключается турбомолекулярный насос; открывается натекатель 6. После остановки ротора насоса закрывается клапан 2. Закрывается натекатель 6; выключается форвакуумный насос 1. Открывается клапан 3, а после напуска атмосферы в механический насос он закрывается. Байпасная откачка откачиваемого сосуда 8 при работающем тур-

бомолекулярном насосе производится через байпасную линию с клапаном 7 при закрытых клапане 2 и затворе 5.

Для получения сверхвысокого вакуума откачиваемый сосуд должен прогреваться. Прогрев рабочей камеры часто осуществляется при работающем турбомолекулярном насосе и одновременном нагреве корпуса насоса до температуры не выше 100°C. Большой нагрев корпуса не рекомендуется из-за опасности рекристаллизации алюминиевых сплавов, из которых изготовлены роторные и статорные диски.

Вакуумные системы с диффузионными насосами по схеме табл. 8-1, п. 2 выполняются как высоковакуумные, так и сверхвысоковакуумные. В сверхвысоковакуумной системе запорная арматура и соединения высоковакуумной части выполняются с металлическими уплотнителями и предусматривается прогрев высоковакуумной части установки с целью ее обезгаживания. По данной схеме строятся вакуумные системы с быстротой откачки более нескольких тысяч литров в секунду. В случае установок с еще большей быстротой откачки (сотни тысяч литров в секунду) между механическим насосом с масляным уплотнением и бустерным насосом обычно устанавливается двухроторный насос. По упрощенной схеме строится подавляющее большинство вакуумных систем с быстротой откачки от долей литра до нескольких тысяч литров в секунду.

В производстве электровакуумных приборов на конвейерных линиях еще часто применяется схема вакуумной системы с диффузионным насосом, отмеченная в табл. 8-1, п.2 как нереконструируемая. Отсутствие байпасной линии в ней приводит к загрязнению откачиваемого сосуда (изделия) парами масла в моменты пуска и остановки насоса. Еще большее загрязнение возникает, если откачиваемый сосуд (обрабатываемое изделие) откачивается низковакуумным насосом с атмосферного давления через нагретый диффузионный насос. К тому же в этом случае имеет место повышенная убыль масла из диффузионного насоса. Кроме того, создаются условия для интенсивного окисления масла и осмоления паропроводов насоса. Все это сокращает время работы между последовательными профилактическими чистками установки и увеличивает трудоемкость обслуживания, одновременно сокращая срок службы средств откачки.

Сейчас, когда появились серийно выпускаемые надежные элементы запорной арматуры и средств измерения давления для автоматизированных вакуумных систем, нельзя допускать таких излишне упрощенных схем.

Принята следующая последовательность включения вакуумных установок с диффузионными насосами, выполненных по упрощенной схеме табл. 8-1, п. 2. Включается механический насос с масляным уплотнением 1. Открывается клапан 3. После достижения давления 1—10 Па ( $10^{-2}$ — $10^{-1}$  мм рт. ст.) включается нагреватель диффузионного насоса 4 и подается вода для охлаждения корпуса насоса. С достижением давления над диффузионным насосом  $10^{-2}$  Па ( $10^{-4}$  мм рт. ст.) и ниже замораживается ловушка. После полного ее замораживания и выхода диффузионного насоса на режим закрывается клапан 3, открывается клапан 7, производится откачка рабочей камеры установки. Как только в рабочей камере установки будет достигнуто давление 1 Па ( $10^{-2}$  мм рт. ст.), клапан 7 закрывается, открываются клапан 3 и затвор 6, начинается высоковакуумная откачка рабочей камеры.

Откачка рабочей камеры установки механическим насосом с масляным уплотнением до возможно более низкого давления приносит только вред, так как в процессе откачки механическим насосом при давлении ниже 10 Па ( $10^{-1}$  мм рт. ст.) камера загрязняется парами масла из механического насоса. В то же время диффузионный насос успешно может начинать откачку с давлений 1—10 Па ( $10^{-2}$ — $10^{-1}$  мм рт. ст.).

Выключение установки производится в следующей последовательности. Закрывается затвор 6. Размораживается ловушка 5. Выключается нагреватель диффузионного насоса 4. При остывании корпуса насоса (неохлаждаемой его части) до температуры 40—60°C прекращается подача воды для охлаждения насоса. Через 5—10 мин закрывается клапан 3. К этому времени корпус насоса несколько нагреется от кипятильника и примет более или менее равномерную температуру, что предотвратит конденсацию влаги при возможном попадании атмосферного воздуха в насос. Выключается механический насос. Открывается клапан 2, после напуска атмосферы он закрывается.

Запуск установки и достижение необходимого давления будут происходить без затруднений, если в процессе

эксплуатации соблюдать несколько простейших правил. Не следует подавать воду для охлаждения диффузионного насоса, когда он находится под атмосферным давлением; производить длительную байпасную откачку рабочей камеры. Необходимо держать затвор закрытым в моменты пуска и остановки насоса; замораживать и размораживать ловушку при откачке ее диффузионным насосом; охлаждение диффузионного насоса до температуры 40—60°C производить при откачке его механическим насосом; перед вскрытием рабочей камеры на атмосферу на непродолжительное время заполнять ее сухим азотом; своевременно проводить все регламентные профилактические работы на установке.

Вакуумные системы с адсорбционными насосами по схеме табл. 8-1, п. 3 нашли применение в лабораторной практике и в промышленности, когда необходим безмасляный вакуум в диапазоне давлений  $10^{-3}$ — $10^{-4}$  Па ( $10^{-5}$ — $10^{-3}$  мм рт. ст.). Упрощенная схема находит большее распространение в лабораторных условиях, полная схема — в промышленных установках. Вспомогательный механический насос с масляным уплотнением предназначен для откачки адсорбционных насосов во время их регенерации. Над механическим насосом обычно устанавливается сорбционная ловушка, препятствующая проникновению паров масла механического насоса в остальную часть вакуумной системы. Целесообразно размещение сорбционной ловушки между двумя клапанами. Это позволяет максимально увеличить время работы ловушки между двумя последовательными регенерациями сорбента.

Рекомендуется следующая последовательность подготовки и запуска установки, выполненной по общей схеме табл. 8-1, п.3. Включают механический насос, открывают клапан 3, производят регенерацию (нагрев) сорбента ловушки 4. После окончания нагрева и охлаждения ловушки до температуры 100—120°C закрывают клапан 3, охлаждают ловушку до комнатной температуры. На время охлаждения ловушки с закрытым клапаном 3 механический насос может быть отключен. Включают механический насос, если он выключался, открывают клапаны 3, 5, 6 и 8, производят регенерацию (нагрев) адсорбционных (цеолитовых) насосов 7 и 9. После окончания нагрева и охлаждения цеолитовых насосов до температуры 100—120°C закрывают клапаны

6 и 8. Если за время регенерации, рекомендованное в техническом описании на насос, не началось снижение давления в насосе от максимального его значения в начале прогрева, следует продолжить прогрев. Клапаны 6 и 8 могут быть закрыты сразу после выключения нагрева насосов. После их закрытия закрывают клапаны 5 и 3, выключают механический насос. Через клапан 2 напускают атмосферный воздух в механический насос и закрывают клапан. Установка готова к работе. Иногда после регенерации цеолитовых насосов проводят повторную регенерацию ловушки 4.

Существует несколько вариантов работы установки, выполненной как по общей, так и упрощенной схеме табл. 8-1, п.3: 1) откачка рабочей камеры одновременно двумя цеолитовыми насосами в случае большой газовой нагрузки; 2) последовательная откачка рабочей камеры двумя цеолитовыми насосами с целью достижения максимального возможного разрежения в рабочей камере; 3) попеременная откачка рабочей камеры то одним, то вторым цеолитовым насосом для обеспечения непрерывности откачки.

Для достижения наибольшего вакуума запуск установки, выполненной по общей схеме табл. 8-1, п. 3, осуществляется в следующей последовательности. Охлаждают цеолитовые насосы — жидкий азот не должен кипеть в сосудах Дьюара насосов. Включают механический насос 1. После того, как появится характерный стук, свидетельствующий о том, что в насосе достигнуто необходимое остаточное давление, открывают клапан 3. Открывают клапаны 5 и 10, производят откачку рабочей камеры до давления не ниже 1—10 Па ( $10^{-2}$ — $10^{-1}$  мм рт. ст.). (Откачка до более низких давлений может привести к замасливанию откачиваемого сосуда и последующему ухудшению характеристик цеолитовых насосов.) Закрывают клапан 5. Открывают клапан 6 (или 8) — начинают откачку рабочей камеры одним из цеолитовых насосов. Закрывают клапан 3, выключают механический насос 1 и напускают в него атмосферный воздух. После того, как давление в рабочей камере перестанет понижаться, закрывают клапан 6 и открывают клапан 8 — дальнейшая откачка рабочей камеры осуществляется вторым насосом.

В случае непрерывной откачки рабочей камеры один насос производит откачку, во втором регенерируют цео-

лит. Применение вместо цеолита какого-либо другого адсорбента не меняет принципов построения и эксплуатации установок на базе адсорбционных насосов.

Высоковакуумная установка с адсорбционными насосами, выполненная по схеме табл. 8-1, п. 4, отличается от предыдущей тем, что:

1) предварительная откачка рабочей камеры 13 может производиться как механическим насосом с масляным уплотнением 1, так и вспомогательным адсорбционным насосом 12. В этом случае предварительная откачка рабочей камеры производится до более низкого давления;

2) во время работы одного основного адсорбционного насоса 6 (или 7) может производиться регенерация сорбента во втором основном адсорбционном насосе 7 (или 6) при откачке его механическим насосом.

Все это позволяет создавать и постоянно поддерживать в рабочей камере установки значительно более низкие давления. Работа этой установки в принципе не отличается от работы установки, выполненной по вышеописанной схеме.

Высоковакуумная прогреваемая безмасляная установка, выполненная по схеме табл. 8-1, п.5, как и две предыдущие, чаще всего применяется в лабораторной практике и ограничено в промышленности. Это объясняется наличием в установке адсорбционных насосов, которые требуют для своей работы охлаждения жидким азотом и периодической регенерации сорбента, что создает неудобства в производственных условиях.

Постановка двух цеолитовых насосов 1 и 2 предварительного разрежения обеспечивает непрерывность работы и большие возможности системы предварительного разрежения. Применение в качестве основного насоса магнитного электроразрядного насоса обеспечивает легкое достижение сверхвысокого вакуума.

В процессе подготовки установки к работе высоковакуумная часть ее обезгаживается. Об обезгаживании установок прогревом будет сказано в § 4.

Последовательность запуска готовой к работе установки следующая. Цеолитовым насосом (правила запуска их описаны выше в настоящем параграфе и в гл 4) создается предварительное разрежение в рабочей камере установки, закрывается клапан 5 и включается магниторазрядный насос 6. Если при этом вместо пониже-

ния начинает заметно расти давление в рабочей камере, что свидетельствует о плохой подготовке магниторазрядного насоса, открывают клапан 5 и производят одновременную откачку рабочей камеры магниторазрядным и цеолитовым насосом. Одновременная откачка двумя насосами производится до тех пор, пока давление не начнет понижаться, после чего клапан 5 закрывается и дальнейшая откачка производится одним магниторазрядным насосом. Если момент понижения давления не наступает длительное время и магниторазрядный насос заметно нагревается, то для того, чтобы не вывести из строя магниторазрядный насос, его периодически выключают, давая возможность остыть. Если в течение 2—3 ч с момента включения магниторазрядного насоса в установке не достигается высокий вакуум, необходимо повторно произвести обезгаживание (а в ряде случаев и чистку) всей высоковакуумной части установки, предварительно проверив ее на герметичность.

Выключение установки заключается в выключении магниторазрядного насоса, перекрытии всех клапанов и удалении жидкого азота из цеолитовых насосов.

Перед вскрытием рабочей камеры на атмосферу на непродолжительное время в нее напускают сухой азот с тем, чтобы при следующем включении установки сократить время откачки и можно было достичь давления, близкого к предельному остаточному давлению, без предварительного прогрева установки. Это требование относится ко всем высоковакуумным установкам. Напуск сухого азота в некоторой степени препятствует конденсации влаги из атмосферного воздуха на внутренних поверхностях элементов вакуумной системы.

Вакуумная установка, выполненная по схеме табл. 8-1, п.6, по сути повторение установки, выполненной по схеме табл. 8-1, п. 5, с той лишь разницей, что в качестве насоса предварительного разрежения применен механический насос 1 с сорбционной ловушкой 4. Последнее обстоятельство позволяет легко автоматизировать установку, но повышает предельное остаточное давление, так как, несмотря на постановку ловушки, пары масла все-таки проникают в рабочую камеру, загрязняют ее и отравляют магниторазрядный насос.

В табл. 8-1, п. 7 приведена схема вакуумной установки с геттерно-ионным (геттерным) насосом. В данной схеме диффузионный насос является не только насо-

сбм предварительного разрежения, но и обязательным вспомогательным насосом, который работает параллельно с основным насосом для подкачки инертных газов. Вакуумная установка, выполненная по схеме табл. 8-1, п. 7,— это прогреваемая сверхвысоковакуумная установка обычно большой производительности, применяемая как в лабораторной практике, так и в промышленности. Такие установки относят к безмасляным установкам, поскольку рабочая камера бывает хорошо защищена от проникновения паров масла из диффузионного насоса высокоэффективными ловушками. Байпасная линия также включает в себя ловушку, бывает достаточно длинной, что способствует лучшей защите рабочей камеры от проникновения паров масла из механического насоса.

Последовательность запуска установки, выполненной по схеме табл. 8-1, п. 7, следующая. При закрытом затворе 8 запускается диффузионный насос 6 и замораживается ловушка 7. Закрывается клапан 5. Открывается клапан 9, в рабочей камере 11 создается первоначальное предварительное разрежение порядка 1—10 Па ( $10^{-2}$ — $10^{-1}$  мм рт. ст.). Закрывается клапан 9, открываются клапан 5 и затвор 8. Диффузионным насосом рабочая камера откачивается до давления не выше  $10^{-4}$ — $10^{-3}$  Па ( $10^{-6}$ — $10^{-5}$  мм рт. ст.), после чего включается геттерно-ионный (геттерный) насос. Выключение установки осуществляется в обратной последовательности.

В табл. 8-1, п. 8 приведена схема вакуумной установки, выполненной по так называемой схеме «вакуум в вакууме». Установка представляет собой рабочую камеру, откачиваемую до низкого или среднего вакуума, в которой помещается обрабатываемое изделие, соединенное с высоковакуумной откачкой. Применение в вакуумной системе дистанционно управляемых элементов позволяет автоматизировать установку. Такая схема широко применяется в автоматизированных откачных постах для производства электровакuumных приборов. Дополнительное оснащение рабочей камеры зависит от вида обрабатываемого изделия.

Схема высоковакуумной откачки обрабатываемого изделия 9 полностью повторяет схему табл. 8-1, п. 6. Отличие состоит в том, что механический насос 1, насос предварительного разрежения, одновременно является основным насосом для откачки рабочей камеры.

## 8-2. Подготовка деталей и сборочных единиц вакуумной системы к сборке

В процессе эксплуатации вакуумного оборудования периодически возникает необходимость в разборке вакуумной установки в связи с ремонтом или профилактической очисткой вакуумной системы от технологических загрязнений и загрязнений, обусловленных действием средств откачки, а также с целью замены или пополнения рабочего вещества вакуумных насосов.

Общеизвестно, что одна из самых серьезных трудностей, с которыми приходится сталкиваться при эксплуатации вакуумных систем,— это очистка поверхности деталей от различных загрязнений. Поверхности, находящиеся в вакуумной полости, должны быть не просто чистыми в обычном понимании этого слова, а должны быть свободны от микроскопических частиц, газов и паров, вредно действующих на обрабатываемое изделие и саму вакуумную систему. В процессе подготовки деталей к сборке должны быть удалены сконденсировавшиеся на поверхности пары различных веществ, таких, как вода, масло, различные жировые вещества. Кроме того, должны быть ликвидированы условия для сорбции больших количеств газа из окружающей среды, т. е. должны быть ликвидированы пористые пленки окислов и других нерастворимых соединений. Последнее достигается механической и химической очисткой.

Особое место занимают первоначальная сборка установки в процессе ее изготовления и разборка и сборка установки в период ввода ее в эксплуатацию. Внимательность и тщательность при подготовке деталей и сборке установок существенно влияют на получение необходимых эксплуатационных характеристик установки. В процессе подготовки и сборки, как правило, выявляются и устраняются все неточности в изготовлении деталей и сборочных единиц. Неточности же в самой подготовке и сборке приводят часто к тому, что установка оказывается неработоспособной или на ней не удается получить паспортных характеристик.

К сборке готовят сборочные единицы, такие, как клапаны, затворы, ловушки, трубопроводы, и отдельные детали, такие, как уплотнители, изоляторы, переходные фланцы и т. д. Подготовка заключается в обезжиривании и очистке всех поверхностей, находящихся в вакууме, в устранении механических повреждений, в провер-

ке легкости сочленения отдельных деталей и сборочных единиц, в проведении специальных операций, таких, как отжиг металлических уплотнителей и т. д. Сборочные единицы, являющиеся самостоятельными изделиями, такие, как насосы, клапаны, ловушки, должны быть полностью собраны и их фланцевые соединения проверены на герметичность. Если производится первоначальная сборка после замены корпусных или других ответственных деталей, то на герметичность проверяются не только фланцевые соединения, но и сварные швы. Кроме того, изделие в целом должно быть проверено на соответствие паспортным данным или требованиям технических условий. При этом отдельные детали должны отвечать всем требованиям чертежа.

Рекомендуется следующая последовательность подготовки элементов вакуумной системы к сборке: средства откачки, запорная арматура, ловушки, трубопроводы, средства измерения давления, отдельные детали рабочей камеры. С момента готовности рабочей камеры начинается сборка установки.

Правила подготовки вакуумных насосов были изложены выше в соответствующих главах. Перед разборкой для промывки запорной арматуры прежде всего проверяются работоспособность и легкость хода привода. Полная разборка элементов привода, включая элементы, работающие в атмосфере, с целью проверки их состояния производится обычно в каждую третью разборку установки с целью чистки вакуумной системы. Если привод сохраняет легкость хода, то отделяют элементы, работающие на атмосфере, в максимально собранном виде, а остальные элементы подлежат полной разборке.

При разборке запорной арматуры особое внимание обращают на состояние седла и заслонки. Рабочая поверхность металлических заслонок, являющихся одновременно уплотнителем, при сильной выработке протачивается на токарном станке или заслонка заменяется новой.

После устранения возможных механических повреждений все элементы, находящиеся в вакуумной полости, тщательно промываются. Для этого разборка должна быть максимально полной, все стопорные винты **должны быть вывернуты**, шплинты, шпильки — вынуты, разъединяющиеся детали — разъединены.

В качестве моющих средств чаще всего применяют бензин, ацетон, спирт, трихлорэтилен и другие распрост-

раненные растворители. Бензин и трихлорэтилен применяют для обезжиривания поверхностей, ацетон и спирт сушат поверхность. Наибольший эффект очистки достигается при промывке в парах растворителя. В лабораторных условиях иногда применяется такая последовательность очистки металлических и неметаллических деталей вакуумных систем: механическая очистка, промывка бензином или трихлорэтиленом, промывка ацетоном или спиртом, протирка сухой бязью и сушка. Не рекомендуется промывать резиновые уплотнители бензином, так как последний растворяет резину.

Медные уплотнители перед постановкой их во фланцевые или штуцерные соединения должны быть отожжены и осветлены. В отдельных случаях отжиг может производиться обычной пламенной горелкой. Осветляют медь концентрированной соляной кислотой или специальными осветляющими растворами. В лабораторной практике, когда отсутствуют условия для нормального отжига и осветления медных уплотнителей, поступают следующим образом. Пламенной горелкой равномерно нагревают уплотнитель до светло-красного свечения. Накаленный уплотнитель опускают в ванну с этиловым спиртом. При охлаждении в спирте медь осветляется.

Возвращаясь к запорной арматуре, следует сказать, что после соответствующей подготовки деталей вакуумной полости, сборки ее и соединения с приводом, проверки легкости хода привода фланцевые соединения и пара седло — заслонка в обязательном порядке должны быть проверены на герметичность. Последней операцией подготовки запорной арматуры является пополнение смазки в парах трения, где это предусмотрено конструкцией. Если производилась полная разборка привода, то он смазывается в процессе сборки.

Подготовленные узлы хранятся в сухом помещении на стеллажах в полиэтиленовых мешках.

Подготовка корпусов и различных деталей ловушек производится аналогично. Правила подготовки сорбента были изложены раньше. Заполнение непрогреваемых сорбционных ловушек сорбентом производится непосредственно перед постановкой их в вакуумную систему.

Соединительные трубопроводы подвергают чистке и промывке после того, как подготовлены к сборке все остальные, кроме рабочей камеры, элементы вакуумной



системы, включая манометрические преобразователи и деформационные вакуумметры.

Рабочая камера — узел, который готовится к сборке последним. Для этого производится полная разборка рабочей камеры, тщательная чистка и промывка всех деталей камеры. Как показывает опыт эксплуатации вакуумного оборудования, время, сэкономленное в результате спешки и небрежности на неполной разборке и недостаточной тщательности промывки, оборачивается многократными потерями времени при запуске установки и получении предельного остаточного давления. После того, как готовы к сборке все детали рабочей камеры, очищается и промывается корпус рабочей камеры. Подготовленный к сборке корпус рабочей камеры нежелательно оставлять открытым на атмосфере на длительное время. Если подготовлены и подогнаны все элементы вакуумной системы, проверена легкость сочленения фланцевых и штуцерных соединений, сборка вакуумной системы, даже сложной, может быть произведена в течение одного рабочего дня.

В числе прочих элементов рабочей камеры могут присутствовать высоковольтные керамические изоляторы. При механической очистке многих видов твердых керамик поверхность не очищается, а, наоборот, загрязняется. Очистку многих керамических изоляторов производят травлением в плавиковой кислоте. Очищенных керамических изоляторов нельзя касаться руками. Их нужно брать пинцетом с наконечниками из неметаллического материала или в перчатках. Хранить их лучше в эксикаторе.

### **8-3. Монтаж вакуумной системы**

Приступая к монтажу вакуумной системы, необходимо иметь на рабочем месте сборочный чертеж и схему вакуумной системы. Это в значительной степени избавляет от возможных ошибок и сокращает время монтажа. Приступать к монтажу рекомендуется только тогда, когда подготовлены все элементы вакуумной системы.

Последовательность монтажа вакуумной системы определяется ее конструкцией. Для закрепления элементов вакуумной системы в пространстве любая установка имеет несущие элементы: раму, кронштейны и т. д. Для значительной части элементов вакуумной системы, таких, как запорная арматура малого и среднего проходного

сечения, трубопроводы, ловушки, компенсаторы, несущими являются другие элементы вакуумной системы. Монтаж начинается с закрепления на раме несущих (как правило, крупногабаритных, тяжелых) элементов вакуумной системы, таких, как рабочая камера, насосы, затвор. Несущих элементов, не считая рамы, обычно бывает несколько. Между ними где-либо в соединительной трубопроводной коммуникации устанавливаются сильфонные компенсаторы, которые облегчают стыковку трубопроводов соединительной коммуникации в случае некоторой неточности в их взаимном расположении.

Если часть коммуникации выполнена резиновыми или другими гибкими шлангами, то сильфонные компенсаторы, естественно, отсутствуют, так как шланги почти всегда обладают большей жесткостью и упругостью, чем сильфонные компенсаторы. Последнее обстоятельство при последовательном соединении компенсатора и гибкого шланга может привести к поломке сильфонного компенсатора и появлению течи.

После закрепления основных несущих элементов вакуумной системы приступают к монтажу остальной части вакуумной системы. Все несущие элементы, имеющие жесткую кинематическую связь с другими механическими устройствами, устанавливаются в первую очередь. После проверки работоспособности всего устройства они жестко закрепляются и еще раз проверяются на легкость перемещения движущихся частей.

При монтаже вакуумной системы необходимо соблюдать следующие основные требования:

1) монтаж должен быть последовательным, элемент за элементом по схеме вакуумной системы от одного несущего элемента к другому;

2) монтаж должен заканчиваться на том элементе, непосредственно на котором устанавливают компенсатор;

3) если компенсатор установлен в середине коммуникации между несущими элементами, то вначале монтируют более короткую и жесткую часть коммуникации, затем более длинную и гибкую, после чего устанавливают компенсатор;

4) при наличии нескольких линий откачки, например основной и байпасной соответственно с несколькими компенсаторами, вначале монтируют основную линию откачки, затем байпасную;

5) дополнительные крепежные элементы, такие, как хомуты на трубопроводной коммуникации, устанавливают без жесткой затяжки, оставляя некоторую свободу перемещения элемента, при установке соответствующего элемента системы. Окончательная затяжка дополнительных крепежных элементов производится после окончательной затяжки всех фланцевых соединений данной линии.

При сборке желательно соблюдать последовательность монтажа не только в пределах между двумя несущими элементами, но и установки в целом. В процессе сборки соединения элементов вакуумной системы проверяются на герметичность. Существуют два способа проверки на герметичность — проверка установки в целом после сборки всей вакуумной системы и поэлементно или отдельными узлами непосредственно в процессе сборки вакуумной системы. Для крупногабаритных установок с разветвленной вакуумной системой с большим количеством элементов предпочтение следует отдать второму способу. В этом случае монтаж соединительных коммуникаций начинают с низковакуумной части установки с тем, чтобы низковакуумный насос установки использовать в качестве вспомогательного при контроле герметичности. Узлы и элементы вакуумной системы в отдельности могут быть испытаны на герметичность с большей чувствительностью, чем те же узлы и элементы в составе вакуумной системы. Если в процессе сборки сложной вакуумной системы доступ к какому-либо элементу становится затруднительным, то необходимо проверить герметичность соединения этого элемента с соседними до постановки других элементов вакуумной системы.

Небольшие и простые установки обычно проверяют на герметичность после сборки всей вакуумной системы. К небольшим и простым установкам следует относить такие, в которых после сборки всей вакуумной системы имеется свободный доступ к любому элементу вакуумной системы для его монтажа и демонтажа.

Наибольшее время в сборке вакуумной системы отнимает герметизация соединений. Правильно выбранные последовательность и усилие затяжки фланцевых соединений обеспечивают быстрое, легкое и надежное уплотнение. Эластомерные уплотнители, например резиновые, чаще всего плотно входят в предназначенную для них

канавку в одном из фланцев соединения, что исключает его случайное выпадение при установке элемента на место. Фланцевые соединения с резиновым уплотнителем рекомендуются уплотнять в следующей последовательности. Устанавливают и закручивают вручную все болты до соприкосновения их с фланцем. Затягивают два диаметрально противоположных болта, следя за тем, чтобы фланцы оставались параллельными. При этом натяг других болтов ослабевает. Как только они освободятся, начинают затягивать другие диаметрально противоположные болты. По мере уплотнения соединения уменьшается освобождение болтов, расположенных рядом со стягиваемыми.

Фланцевые соединения с резиновым уплотнителем, рассчитанные на смыкание фланцев, затягивают до плотного прилегания фланцев. При затяжке фланцевых соединений с резиновым уплотнителем, работающих с зазором между фланцами, следят за тем, чтобы зазор был равномерным по всему соединению и усилие затяжки всех болтов было одинаковым.

Последовательность затяжки фланцевых соединений с металлическим уплотнителем несколько иная. Уплотнитель вкладывают во фланец с канавкой. Если фланец расположен вертикально или горизонтально канавкой вниз и уплотнитель выпадает из углубления во фланце, то его слегка деформируют так, чтобы он не выступал из углубления и не выпадал из него при аккуратном переворачивании фланца. При соединении фланцев выступ фланца с «зубом» должен войти в углубление фланца с канавкой. Вставляют болты и затягивают их вручную до соприкосновения с поверхностью фланца. Аналогично затяжке фланцевого соединения с резиновым уплотнителем затягивают фланцевое соединение до упора выступа по наружному диаметру фланца с «зубом» во фланец с канавкой. Дальнейшая затяжка соединения ведет к упругой деформации фланца и неупругой деформации уплотнителя, к созданию герметичного уплотнения. В этот момент рекомендуется последовательная по кругу затяжка рядом расположенных болтов, причем затяжку следует производить поворотом гайки, удерживая болт другим ключом. Каждую гайку поворачивают на половину или три четверти оборота. В случае болтового соединения с мелкой резьбой угол поворота в 1,2—1,5 раза больше.

При круговой затяжке болты с диаметрально противоположной стороны несколько ослабевают. Рекомендуется время от времени подкручивать их вручную до соприкосновения с фланцем. По мере возрастания усилия затяжки угол поворота гайки при каждом шаге уменьшаются до половины и даже четверти и меньше оборота. Опасна чрезмерная первоначальная затяжка первых болтов, так как при этом возникает чрезмерная местная деформация уплотнителя, которая при круговой затяжке будет перемещаться в виде волны с образованием складки на уплотнителе при завершении первого круга затяжки. В этом случае усилия в начале и конце круга затяжки будут существенно разными.

Наибольшую трудность, в особенности при повторных сборках установки, представляет собой герметизация штуцерных соединений с металлическим уплотнителем, где усилие на уплотнитель создается с помощью одной гайки. В таких соединениях наиболее вероятно обнаружение течи после затяжки. Течь может оставаться даже при очень больших усилиях затяжки. Чаще всего это усилие обусловлено не воздействием на уплотнитель, а силой трения, возникающей в резьбовой паре из-за окисления металла. Смачивание резьбы легкоиспаряющимся растворителем, например спиртом или ацетоном, уменьшает силу трения и ликвидирует характерный резкий скрип.

В последнюю очередь устанавливаются стеклянные манометрические преобразователи, электрические вводы и всевозможные датчики. По окончании монтажа вакуумной системы приступают к монтажу системы охлаждения. Монтаж системы охлаждения ведется металлическими трубками со штуцерными соединениями. Переходные участки могут быть выполнены дюритовыми шлангами. Поверх дюритового шланга в месте его соединения с металлической трубкой устанавливается специальный бандаж или делается бандаж из мягкой проволоки. Переходные участки с дюритовыми шлангами крайне нежелательны для стационарных установок.

Производя монтаж системы охлаждения, не следует перетягивать штуцерные соединения, так как большие усилия, развиваемые на резьбовой паре, могут привести к преждевременному выходу из строя штуцерного соединения. Тем более, что для жидкости не требуется высокой степени герметичности.

По окончании монтажа системы охлаждения проверяют ее герметичность подачей воды. Не допускается применение замазок и закрашивания мест течи воды по штуцерным соединениям. Они обязаны обеспечивать необходимую герметичность по воде без дополнительных мер герметизации. Если течь все-таки имеется, необходимо проверить целостность штуцерного соединения и заменить уплотнитель.

Установкой необходимых нагревателей, кожухов, размещением контрольно-измерительных приборов и соединением их шлангами с датчиками, подачей электропитания заканчивается монтаж вакуумной установки.

#### **8-4. Получение предельного разрежения в рабочем объеме. Проверка герметичности вакуумной системы**

Перед запуском установки необходимо произвести пробные включения всех элементов. Перед включением механических насосов проверяют направление вращения его электродвигателя. Для этого на обесточенной установке снимают приводные ремни механического насоса, затем подают электропитание на установку и включают электродвигатель. Правильным будет вращение вала электродвигателя по часовой стрелке, если смотреть на него со стороны шкива.

Запорную арматуру с электромеханическим приводом вручную устанавливают в среднее положение. Подачей напряжения на открытие и закрытие проверяют срабатывание всех элементов запорной арматуры.

Кратковременно включают все нагреватели. Создают или имитируют условия для срабатывания блокировок. Проверяют работоспособность всех элементов вакуумной установки.

При условии положительного результата проверок элементов вакуумной установки приступают к получению предельного остаточного давления в откачиваемом сосуде. При этом, как уже говорилось, установка окончательно будет подготовлена к ее эксплуатации. Последовательность запуска установок была изложена в § 1 настоящей главы.

Если остаточное давление в рабочей камере заметно превышает ожидаемое давление, необходимо определить, чем вызвано высокое давление — натекаем или газовыделением. Если манометрический преобразователь

соединен с вакуумной системой через заливную азотную ловушку, в нее заливают жидкий азот. Если под манометрическим преобразователем нет ловушки, то соединительный патрубок обматывают ватой и на нее наливают жидкий азот. Резкое снижение давления (на порядок и больше) будет свидетельствовать о большом газовыделении. Уменьшение давления в 2—5 раз будет свидетельствовать о незначительном газовыделении и заметном натекании. Манометрическим методом, см. гл. 7, оценивают величину натекания в рабочую камеру. Оценивают место расположения крупных течей: в рабочей камере или под затвором на стороне высоковакуумной части. О натекании на форвакуумной стороне можно судить по величине форвакуумного давления. Когда определен участок расположения основных течей, приступают к поиску и устранению течей. Методика поиска течей была изложена в предыдущей главе.

Вначале обнаруживают и устраняют крупные течи. Для этого, если поиск ведется с помощью масс-спектрометрического течеискателя методом обдува, работают с большой струей пробного газа. Течи во фланцевых соединениях надо попытаться устранить дополнительной затяжкой соединения. Не допускается использование всякого рода замазок, так как с их помощью очень часто течь не устраняется полностью, а если и устраняется, остается вероятность открытия течи в любой момент времени, в том числе и в самый неблагоприятный. Если дополнительной затяжкой течь не устраняется, необходимо разобрать соединение, убедиться в целостности фланцев, в отсутствии рисок и забоин на уплотняющих элементах, заменить уплотнитель и вновь произвести затяжку соединения.

Течи по сварным швам и металлу устраняются дополнительной подваркой. Прежде чем производить подварку, необходимо убедиться в абсолютно точном обнаружении места расположения течи. Делают это следующим образом. Берут обдуватель с очень тонким каналом, например, в качестве обдувателя может быть использована тонкая игла от медицинского шприца. Создают слабый поток пробного газа на выходе из обдувателя. Поднесение обдувателя точно к течи дает максимальный отсчет течеискателя, в то время как смещение его в сторону всего на 2—3 мм резко снижает, а иногда и вообще исключает реакцию течеискателя.

По мере устранения крупных течей легче обнаруживаются все более мелкие течи. После обнаружения и устранения течей в оболочке вакуумной системы проверяется на герметичность запорная арматура. После закрытия затвора или клапана в предварительно откачанную полость, отделенную от течеискателя проверяемым клапаном или затвором, подается пробный газ и фиксируется реакция течеискателя. Так, например, в случае установки с диффузионным насосом, закрытием высоковакуумного затвора и подачей пробного газа в рабочую камеру установки течеискателем, установленным в форвакуумной линии, проверяется герметичность затвора и клапана на байпасной линии.

Устранение всех течей — неперенное условие, необходимое для получения предельного остаточного давления в рабочей камере. Для сверхвысоковакуумных установок вторым неперенным условием является прогрев с целью обезгаживания всей высоковакуумной части вакуумной системы под откачкой. Следует особо подчеркнуть, что необходим одновременный прогрев всей высоковакуумной части. Если учесть, что прогрев производится обычно с целью понижения остаточного давления на порядок и более, а оставшиеся непрогретыми, например, 10% внутренней поверхности вакуумной системы вдвое снижают эффективность прогрева, это требование становится очевидным.

Запорная арматура вакуумной системы допускает прогрев только в открытом состоянии. В то же время на рабочей камере ряда сверхвысоковакуумных прогреваемых установок стоит запорная арматура, соединяющая камеру с непрогреваемыми системами, например системами напуска газа. При подготовке такой системы к прогреву во фланцевое соединение, обращенное к непрогреваемой части установки, вместо кольцевого металлического уплотнителя ставят диск из того же металла диаметром, равным внешнему диаметру уплотнителя. Такой диск на время прогрева заменяет уплотнитель и пару седло—заслонка. Прогрев будет произведен в открытом состоянии. После окончания прогрева и закрытия клапана диск заменяют на обычный уплотнитель.

В процессе прогрева может произойти ослабление затяжки некоторых фланцевых соединений. Поэтому после остывания установки, если не достигается нуж-

ное давление, полезно произвести подтяжку фланцевых соединений.

Присутствие на поверхности деталей трещин, каких-либо других механических дефектов и окислов затрудняет процесс обезгаживания. Обычно прогрев установки производится при температуре 350—450°C в течение 10—20 ч. За это время основная масса газа удаляется с поверхности и частично из глубин материала. После охлаждения поток газовой выделения постоянен во времени, так как обусловлен в основном диффузией газа из глубин материала. Этим объясняется, что длительной откачкой после полного охлаждения установки не удается достичь заметного понижения давления. Если необходимо дальнейшее понижение остаточного давления, больший эффект даст повторный прогрев установки.

#### ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

### ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

#### 9-1. Общие сведения

Необходимость в измерении основных вакуумных характеристик возникает в процессе разработки оборудования, его изготовления и эксплуатации.

Измерение предельного остаточного давления заключается в установлении истинной величины давления, полученного в откачиваемом сосуде с помощью конкретного насоса. На величину предельного остаточного давления влияют:

состояние внутренних поверхностей насоса и вакуумной системы, включая измерительный колпак, т. е. наличие загрязнений и степень обезгаживания системы, определяющих уровень газовой выделения в системе;

качество и подготовка рабочего вещества насоса, от которых зависит обратный поток углеводородов из насоса;

величина натекания газа в систему.

Приступая к измерению предельного остаточного давления, необходимо обеспечить заданный уровень тех факторов, которые влияют на величину предельного остаточного давления. В частности, суммарный поток натекания и газовой выделения не должен превышать  $0,01 S_n P_{ост}$ , где  $S_n$  — номинальная быстрота действия вы-

соковакуумного насоса,  $P_{ост}$  — ожидаемое остаточное давление.

В случае отсутствия натекания, а это необходимое условие при измерении предельного остаточного давления, расположение и ориентация манометрических преобразователей безразличны.

Измерение предельного остаточного давления производится в следующей последовательности. Тщательно готовится вакуумная система. Запускается насос (или установка). При установлении постоянного давления в системе производится обезгаживание манометрических преобразователей и измеряется давление. Измерения повторяются каждый час или полчаса. Давление, не изменяющееся в пределах ошибки измерений в течение 3 ч, считается предельным остаточным давлением.

Измерение быстроты откачки системы и быстроты действия насосов может производиться методом постоянного объема и методом постоянного давления. Метод постоянного объема, заключающийся в построении кривых понижения давления в процессе откачки сосуда известного объема и в последующем расчете быстроты откачки, применяется довольно редко в силу большой неточности из-за сложности учета влияния сорбции и десорбции газа при низких давлениях. Обычно используется метод измерения быстроты откачки при постоянном давлении и контролируемом потоке газа в откачиваемый сосуд. В этом случае измерение быстроты откачки 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:

$$Q = \text{const} = S_1 P_1 = S_2 P_2 = S_n P_n, \quad (9-1)$$

где индексы 1, 2, ..., n указывают на то, что значения быстроты откачки и давления относятся к 1, 2, ..., n-му сечению вакуумной системы.

Формула для вычисления быстроты откачки  $S$  имеет вид:

$$S = \frac{Q}{P} \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right] = 10^3 \frac{Q}{P} \left[ \frac{\text{л}}{\text{с}} \right], \quad (9-2)$$

где  $Q$  — поток газа, поступающий в вакуумную систему и измеренный в любом месте его прохождения, Вт [ $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ ];  $P$  — давление газа в сечении, в котором измеряется быстрота откачки, Па.

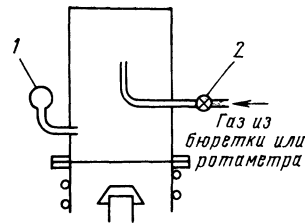


Рис. 9-1. Расположение измерительного колпака при измерении скорости действия насоса.

1 — манометрический преобразователь, 2 — нагреватель

Для измерения скорости откачки на испытуемый насос устанавливается измерительный колпак, как показано на рис. 9-1. Использование стандартного измерительного колпака при измерении скорости действия обязательно с тем, чтобы всегда получались идентичные результаты. Применение стандартного измерительного колпака исключит влияние испытательной аппаратуры на форму потока газа и показание вакуумметра. Размеры и конфигурация измерительных колпаков для разного типа насосов будут приведены в следующих параграфах настоящей главы.

На измерительном колпаке устанавливаются манометрические преобразователи и нагреватель, соединенный вакуумным шлангом с прибором для измерения потока газа. Поток газа в диапазоне  $1,66 \cdot 10^{-4} - 1,1$  Вт ( $1,25 - 8350$  л·мкм рт. ст/с) измеряется ротаметром, в диапазоне  $1 \cdot 10^{-7} - 10^{-2}$  Вт ( $0,76 \cdot 10^{-3} - 10^2$  л·мкм рт. ст/с) — бюреткой. Об измерении еще меньших потоков с помощью диафрагм будет сказано в конце параграфа.

Измерительная бюретка (рис. 9-2) представляет собой стеклянную бюретку (см. приложение 14) с припаянным к верхнему концу прямым краном с проходом 4—6 мм. При испытаниях верхний конец бюретки соединяется вакуумным шлангом с нагревателем, нижний опущен в стакан с маслом. Внутренний диаметр соединительного шланга 0,5—0,7 внутреннего диаметра бюретки и длина не более 1 м.

Измерение скорости откачки производят в следующей последовательности. Сначала достигается остаточное давление в измерительном колпаке. Оно должно

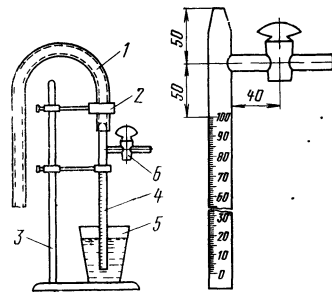


Рис. 9-2. Измерительная бюретка.

1 — соединительный шланг; 2 — державка; 3 — штатив; 4 — бюретка; 5 — стакан с маслом; 6 — кран.

быть по крайней мере на порядок ниже того давления, при котором будет измеряться скорость действия. Убеждаются в том, что краном *b* (рис. 9-2) бюретка и нагреватель соединены с атмосферой. В таком положении кран должен находиться всегда, за исключением момента измерения потока. С помощью нагревателя устанавливают требуемое давление в измерительном колпаке. Выбирают на шкале бюретки участок отсчета, удобный для наблюдения. Оба отсчетных уровня должны находиться в нижней части бюретки, и разность их должна составлять около 10 делений. Перекрывают кран на бюретке. При этом масло в бюретке начнет подниматься, восполняя убыль воздуха, поступающего в измерительный колпак через нагреватель. Когда уровень масла в бюретке сравняется с нижним краем участка отсчета, включают секундомер. Когда уровень масла достигнет верхнего края участка отсчета, поднявшись на *n* делений, останавливают секундомер, фиксируя время  $\tau$  подъема масла на *n* делений, и открывают кран на бюретке (во избежание затягивания масла в измерительный колпак нельзя забывать открывать кран на бюретке).

Количество газа, поступившего в измерительный колпак, соответственно изменению количества газа в бюретке за время подъема масла будет равно:

$$Q\tau = \Delta(PV_0) = V_0\Delta P + P_{\text{ат}}\Delta V_0, \quad (9-3)$$

где  $Q$  — среднее значение потока газа;  $\tau$  — время подъема масла;  $V_0$  — начальный объем бюретки и шланга до нагревателя;  $\Delta P$  — изменение давления газа в бюретке, обусловленное подъемом масла;  $P_{\text{ат}}$  — барометрическое давление воздуха.

Здесь

$$\Delta P = \frac{l}{N} \gamma_m n \cdot 10 \text{ Па},$$

где  $l$  — высота градуированной части бюретки, мм;  $N$  — число делений на градуированной части бюретки;  $\gamma_m$  — плотность масла, Г/см<sup>3</sup>;  $n$  — высота подъема столба масла за время  $\tau$ , деления; а

$$\Delta V_0 = \frac{V_6}{N} n \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

где  $V_6$  — объем градуированной части бюретки, см<sup>3</sup> (мл), тогда

$$Q = \frac{\Delta(PV_0)}{\tau} = \left( V_0 \frac{l}{N} \gamma_m \cdot 10^{-2} + P_{\text{ат}} \frac{V_0}{N} \cdot 10^{-6} \right) \frac{n}{\tau} = K_6 \frac{n}{\tau}, \text{ Вт},$$

если  $V_0$ , л;  $P_{\text{ат}}$ , Па, и  $\tau$ , с.

При измерениях быстроты откачки с помощью бюретки расчетная формула имеет вид:

$$S = \frac{K_6 n}{P_{\text{в}} \tau} \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right] = \frac{K_6 n}{P_{\text{в}} \tau} \cdot 10^3 \text{ л/с}, \quad (9-4)$$

где  $K_6$  — коэффициент бюретки, равный:

$$K_6 = V_0 \frac{l}{n} \gamma_m \cdot 10^{-2} + P_{\text{ат}} \frac{V_0}{N} \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}, \quad (9-5)$$

где  $P_{\text{в}}$  — давление газа в измерительном колпаке, при котором измеряется быстрота откачки, Па.

Коэффициент бюретки, рассчитанный для среднего годового значения атмосферного давления данной местности, часто записывается на шланге бюретки. При ответственных измерениях необходимо каждый раз перед измерениями рассчитывать коэффициент бюретки с учетом фактического атмосферного давления. Для измерения быстроты действия насоса в широком диапазоне впускных давлений надо иметь набор бюреток с различными коэффициентами.

Для каждой группы измерений в пределах одного диапазона впускных давлений подбирают такую бюретку, чтобы масло проходило участок отсчета высотой 20—100 мм (10—40 делений) за 20—100 с. При большей скорости перемещения масла на результаты измерения начинает влиять вязкостное торможение масла на стенках бюретки.

Для получения воспроизводимых результатов измерения перед каждым следующим измерением дают возможность стечь маслу со стенок бюретки.

В случае насосов большой производительности вместо бюреток используют ротаметры.

Если измерение потока производится с помощью ротаметра, то величина потока газа рассчитывается по формуле

$$Q = P_{\text{ат}} v \cdot 10^{-3} \text{ Вт}, \quad (9-6)$$

где  $v$  — скорость прохождения воздуха через ротаметр, определенная по паспортной кривой ротаметра, л/с.

Тогда формула (9-1) для подсчета быстроты откачки примет вид:

$$S = \frac{P_{\text{ат}} v}{P_{\text{в}}} \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right] = \frac{P_{\text{ат}} v}{P_{\text{в}}}, \quad \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (9-7)$$

При измерениях быстроты действия сверхвысоковакуумных насосов, когда несмотря на большую быстроту действия, количества откачиваемого газа малы, ротаметры и бюретки, с помощью которых измерения производятся при атмосферном давлении, т. е. при большой плотности газа, оказываются непригодными для измерения потока. В то же время малые потоки в молекулярном режиме течения газа легко определяются по перепаду давления на участке с известной пропускной способностью, каким является диафрагма с круглым калиброванным отверстием. В этом случае вместо измерительного колпака, показанного на рис. 9-1, над насосом устанавливают колпак, изображенный на рис. 9-3. Нижняя и верхняя части измерительного колпака разделены диафрагмой.

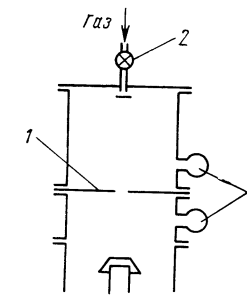


Рис 9-3 Расположение измерительного колпака при измерении быстроты действия с помощью диафрагмы  
1 — диафрагма; 2 — натекатель, 3 — манометрические преобразователи

Измерение быстроты откачки осуществляется в следующей последовательности. Достигается предельное остаточное давление в измерительном колпаке. С помощью натекателя устанавливают заданное давление  $P_2$  в нижней части измерительного колпака — давление, при котором необходимо измерить быстроту откачки. При этом в верхней части измерительного колпака — над диафрагмой — установится давление  $P_1$ . По известной формуле поток газа запишется в виде

$$Q = U(P_1 - P_2) = SP_2,$$

откуда

$$S = U \left( \frac{P_1}{P_2} - 1 \right), \quad (9-8)$$

где  $U$  — пропускная способность диафрагмы, равная 11,6 А [л/с];  $P_1$  и  $P_2$  — давление соответственно в верхней и нижней частях измерительного колпака;  $A$  — площадь отверстия диафрагмы, см<sup>2</sup>.

Достоинство этого метода заключается в высокой точности измерений, так как пропускная способность диафрагмы может быть вычислена с большой точностью, а абсолютной точности измерения давления не требуется. Достаточно, чтобы относительная чувствительность вакуумметров была одинаковой.

Измерение наибольшего рабочего давления обычно производится в ходе измерения быстроты действия насоса. По определению наибольшее рабочее давление — это то наибольшее давление, при котором насос длительное время сохраняет номинальную быстроту действия.

Измерения производят следующим образом. С помощью натекателя плавно увеличивают поток газа в откачиваемый сосуд. Естественно, что при этом увеличивается давление на входе в насос. Когда относительное изменение быстроты действия при изменении давления превысит относительное изменение давления, произойдет «срыв» насоса, т. е. давление в откачиваемом сосуде начнет резко возрастать, и насос прекратит откачку поступающего газа. После восстановления работоспособности насоса натекателем восстанавливают давление, близкое к давлению срыва, но меньше его. Если в течение часа давление остается постоянным в пределах точности измерений при постоянном по величине напуске газа, это давление принимается равным наибольшему рабочему давлению насоса. Измерение давления может производиться любым вакуумметром, обеспечивающим заданную точность.

Измерение наибольшего давления запуска имеет важное значение для эксплуатации магнитных электроразрядных, геттерных и геттерно-ионных насосов. Измерение наибольшего давления запуска заключается в том, что в насосе создают такое давление, начиная с которого насос откачивает стандартный измерительный колпак до давления  $10^{-4}$  Па ( $10^{-6}$  мм рт. ст.) за время от 5 до 20 мин. Испытания по определению наибольшего давления запуска проводятся методом последовательных приближений. Во избежание получения ошибочных результатов приближаться к наибольшему давлению запуска лучше со стороны более низких давлений.

Измерение наибольшего давления запуска проводят в следующей последовательности. Испытуемым насосом

откачивают сосуд до давления ниже  $1 \cdot 10^{-4}$  Па ( $1 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст.). Выключают насос. В откачиваемый сосуд напускают атмосферный воздух. Насосом предварительного разрежения создают в испытуемом насосе давление в 3—5 раз ниже ожидаемого наибольшего давления запуска. Включают насос. Определяют время, затраченное на достижение давления порядка  $10^{-4}$  Па ( $10^{-6}$  мм рт. ст.). Выключают насос, напускают в него атмосферный воздух. Насосом предварительного разрежения создают в испытуемом насосе давление в 1,5—2 раза больше первоначального давления запуска. Включают насос. Так повторяют несколько раз. Давление запуска, предшествующее в ходе испытаний давлению запуска, при котором время достижения давления в измерительном колпаке порядка  $10^{-4}$  Па ( $10^{-6}$  мм рт. ст.) превысило заданную величину, считают наибольшим давлением запуска насоса.

Измерение наибольшего выпускного давления в зависимости от поставленной цели испытаний может производиться при различных впускных давлениях. Если величина впускного давления при испытаниях не оговорена, то измерения производятся при наиболее высоких впускных давлениях, отвечающих номинальной скорости действия. Измерение наибольшего выпускного давления заключается в том, чтобы измерить то наибольшее давление в выходном сечении газоперемищающего насоса, которое еще не влияет на впускные характеристики (быстроту действия, остаточное давление и т. д.) насоса. Проще всего о сохранении впускных характеристик судить по величине остаточного давления.

Испытания проводят следующим образом. На форвакуумном трубопроводе в непосредственной близости от выпускного патрубка испытуемого насоса устанавливают манометрический преобразователь, U-образный или деформационный вакуумметр (в зависимости от ожидаемой величины наибольшего выпускного давления). На том же трубопроводе на расстоянии не менее 200 мм от выпускного патрубка испытуемого насоса устанавливают натекаТЕЛЬ. Второй натекаТЕЛЬ устанавливается на измерительном колпаке на входе испытуемого насоса. Включается испытуемый насос. В откачиваемом сосуде создается давление не выше  $10^{-4}$ — $10^{-3}$  Па ( $10^{-6}$ — $10^{-5}$  мм рт. ст.). Натекателем устанавливается необходи-



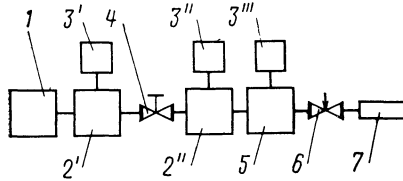


Рис. 9-4. Схема испытаний по определению проводимости вакуумной арматуры.

1 — система откачки; 2' и 2'' — измерительные патрубки; 3 — манометрические преобразователи; 4 — испытуемый элемент, например клапан; 5 — стандартный измерительный колпак; 6 — натекатель; 7 — устройство для измерения газового потока, например бюретка или ротаметр.

пускным давлением. При закрытии натекателя на форвакуумном трубопроводе давление в измерительном колпаке должно вернуться к первоначальному значению.

Измерение проводимости (сопротивления газовому потоку) в вакуумной арматуры сводится к измерению потока газа, проходящего через испытуемый элемент, и давления газа по обе стороны от испытуемого элемента.

Схема установки для испытаний по определению проводимости вакуумной арматуры приведена на рис. 9-4. Проводимость испытуемого элемента вычисляется по формуле, м<sup>3</sup>/с:

$$u = \frac{Q}{P''' - P'}, \quad (9-9)$$

где  $u$  — проводимость испытуемого элемента, м<sup>3</sup>/с;  $Q$  — поток газа, измеренный бюреткой или ротаметром, Вт;  $P'$  и  $P''$  — давления газа в измерительных патрубках, Па.

Измерение малых газовых потоков при измерении проводимости арматуры в области сверхвысокого вакуума удобнее производить с помощью диафрагмы. В этом случае между измерительным патрубком 2'' и измерительным колпаком 5 устанавливается диафрагма с круглым калиброванным отверстием с проводимостью, примерно равной ожидаемой проводимости испытуемого элемента. Расчетная формула примет вид, м<sup>3</sup>/с:

$$u = u_d \frac{P''' - P''}{P'' - P'}, \quad (9-10)$$

где  $u_d$  — проводимость диафрагмы в молекулярном режиме течения газа, вычисленная по диаметру отверстия, м<sup>3</sup>/с;  $P'$ ,  $P''$  и  $P'''$  — давления газа, измеренные соответственно в измерительных патрубках 2' и 2'' и в измерительном колпаке 5, Па.

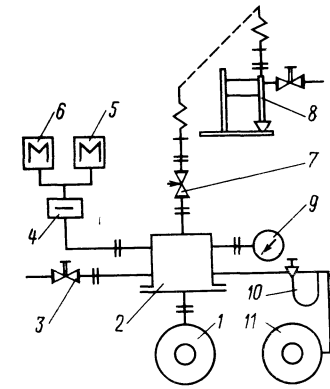
## 9-2. Механические насосы

Измерение основных вакуумных характеристик механических насосов с масляным уплотнением осуществляется на испытательном стенде, схема которого представлена на рис. 9-5.

Измерительный колпак (рис. 9-6), присоединяемый к испытуемому насосу, представляет собой герметичный цилиндр, объем которого должен быть в 5 раз больше объема газа, всасываемого насосом за один оборот ротора.

Рис. 9-5. Схема испытательного стенда для измерения основных вакуумных характеристик механических вакуумных насосов с масляным уплотнением.

1 — испытуемый насос; 2 — измерительный колпак; 3 — клапан; 4 — шаровая заливная азотная ловушка; 5 — термоманометрический преобразователь ПМТ-2; 6 — электронный ионизационный манометрический преобразователь ПМИ-2; 7 — натекатель; 8 — устройство для измерения потока газа — набор бюреток и (или) ротаметров; 9 — образцовый деформационный вакуумметр; 10 — масляный U-образный манометр; 11 — вспомогательный насос для откачки U-образного манометра.



Между измерительным колпаком и насосом устанавливается конический переходник с двумя фланцами. Нижний фланец должен быть ответным к фланцу впускного патрубка насоса, верхний — к фланцу измерительного колпака.

В ходе испытаний измеряют полное остаточное давление, парциальное остаточное давление неконденсирующихся газов и быстроту действия насоса. Испытания проводятся в следующей последовательности. Монтируют стенд по схеме рис. 9-5. Проверяют закрытие всех клапанов. Рукоятка крана на U-образном манометре долж-

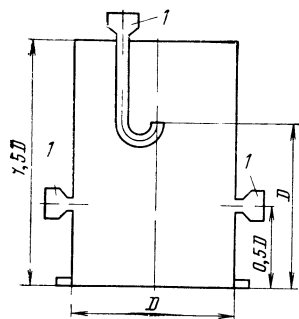


Рис. 9-6. Измерительный колпак для измерения быстроты откачки.

1 — «грибки» для присоединения манометрических преобразователей и натекателя.

После измерения полного и частичного предельных остаточных давлений приступают к измерению быстроты действия насоса. Для этого натекатель 7 соединяют с бюреткой с коэффициентом бюретки, равным,  $\text{м}^3 \cdot \text{Па}$ :

$$K_6 \approx \frac{SP_{в\tau}}{n} \cdot 5 \cdot 10^{-3}, \quad (9-11)$$

где  $S$  — ожидаемая быстрота действия насоса, л/с;  $P_{в}$  — нижняя граница диапазона давлений, в котором необходимо измерить быстроту действия, Па;  $\tau$  — наибольшее рекомендуемое время измерения потока — время подъема масла в бюретке, с;  $n$  — число делений на градуированной части бюретки.

Произведя группу измерений, подсоединяют следующую бюретку с большим коэффициентом бюретки. Заканчивают измерения быстроты действия в большинстве случаев с ротаметром. Измерение давления последовательно осуществляют всеми имеющимися средствами измерения давления, используя в каждом диапазоне те вакуумметры, которые обеспечивают максимальную точность. Перед измерениями с помощью U-образного манометра включают вспомогательный механический насос.

По результатам измерений строится график быстроты действия в зависимости от впускного давления.

Измерение основных вакуумных характеристик двухроторных насосов имеет отличительные особенности, обусловленные тем, что впускные характеристики насоса зависят от давления в выпускном патрубке насоса.

на находиться в таком положении, когда оба колена манометра соединены со вспомогательным насосом. Включается испытуемый насос. Измеряется полное остаточное давление. В ловушку заливается жидкий азот. После замораживания ловушки, о чем судят по прекращению кипения и исчезновению пузырьков в жидком азоте, измеряется парциальное давление газов, не конденсирующихся при температуре жидкого азота. По окончании измерений выдувают азот и размораживают ловушку.

Испытания двухроторных насосов производятся на стенде, схема которого изображена на рис. 9-7.

Измерительный колпак по конструкции может быть таким же, как и измерительный колпак для испытаний вращательных насосов с масляным уплотнением. Однако допускаются в 2—3 раза меньшие размеры измерительного колпака.

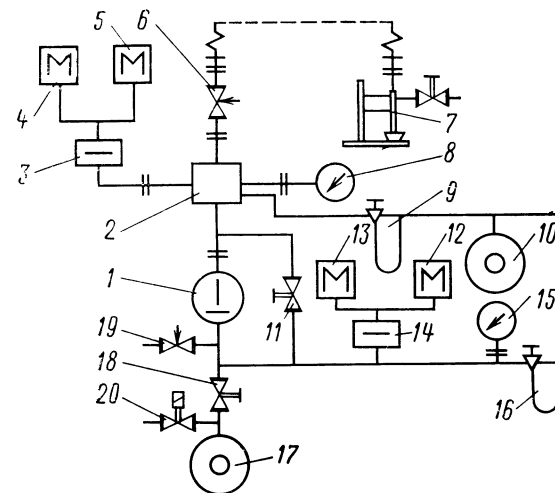


Рис. 9-7. Схема испытательного стенда для измерения основных вакуумных характеристик двухроторных насосов.

1 — испытуемый насос; 2 — измерительный колпак; 3, 14 — шаровые стеклянные заливные азотные ловушки; 4, 12 — термопарные манометрические преобразователи ПМТ-2; 5, 13 — электронные ионизационные манометрические преобразователи ПМИ-2; 6, 19 — натекатели; 7 — устройство для измерения потока газа — набор бюреток и (или) ротаметров; 8, 15 — образцовые деформационные вакуумметры; 9, 16 — масляные U-образные манометры; 10 — вспомогательный механический насос для откачки U-образного манометра; 11, 18, 20 — клапаны; 17 — фор-вакуумный насос.

В ходе испытаний измеряют предельное остаточное давление в зависимости от форвакуумного давления и быстроту действия. Испытания проводят в следующей последовательности. Готовят испытуемый насос и испытательную аппаратуру. Монтируют испытательный стенд по схеме рис. 9-7. Проверяют герметичность вакуумной системы. Достигают предельное остаточное давление при полностью открытом клапане 18. Фиксируют дав-

ление в измерительном колпаке и в выпускном патрубке испытуемого насоса. Натекателем 19 вдвое, втрое увеличивают форвакуумное давление. После установления давления в измерительном колпаке фиксируют его и снова увеличивают форвакуумное давление.

Результаты удобно записывать в виде таблицы. Максимально допускается увеличивать форвакуумное давление до  $7 \cdot 10^2$  Па (5 мм рт. ст.), причем не следует допускать длительной работы двухроторного насоса при таком выпускном давлении, так как это самый тяжелый режим для него. По результатам испытаний строят график предельного остаточного давления двухроторного насоса в зависимости от выпускного давления.

Процесс измерения быстроты действия двухроторных насосов аналогичен измерению быстроты действия вращательных насосов с масляным уплотнением.

Измерение основных вакуумных характеристик турбомолекулярных насосов включает измерение предельного остаточного давления, быстроты действия и наибольшего выпускного давления.

Испытательная аппаратура и методика измерений вакуумных характеристик турбомолекулярного насоса аналогичны аппаратуре и методике измерений характеристик пароструйного диффузионного насоса.

### 9-3. Пароструйные диффузионные насосы

Испытания пароструйных насосов по измерению основных вакуумных характеристик осуществляются на испытательном стенде, схема которого представлена на рис. 9-8.

Измерительный колпак по соотношению высоты и диаметра, а также по месту расположения манометрических преобразователей аналогичен измерительному колпаку для измерения быстроты действия вращательных насосов с масляным уплотнением (см. рис. 9-6). Отличие заключается в том, что «грибковые» соединения заменяются фланцевыми соединениями с металлическим уплотнителем. Стеклоянные ловушки с манометрическими преобразователями привариваются к металлическим фланцам через коваровый патрубок. При отсутствии ловушек перед манометрическими преобразователями лучше использовать прогреваемые манометрические преобразователи и устанавливать их в трубке, как показа-

но на рис. 9-9. Натекатель, установленный на напускной трубке, должен быть прогреваемым и соединяться с ней с помощью фланцевого соединения с металлическим уплотнителем. Когда используется непрогреваемый натекатель, он должен быть вынесен из зоны нагрева на длинной трубке. Внутренний диаметр измерительного колпака должен быть равен условному диаметру входного сечения насоса.

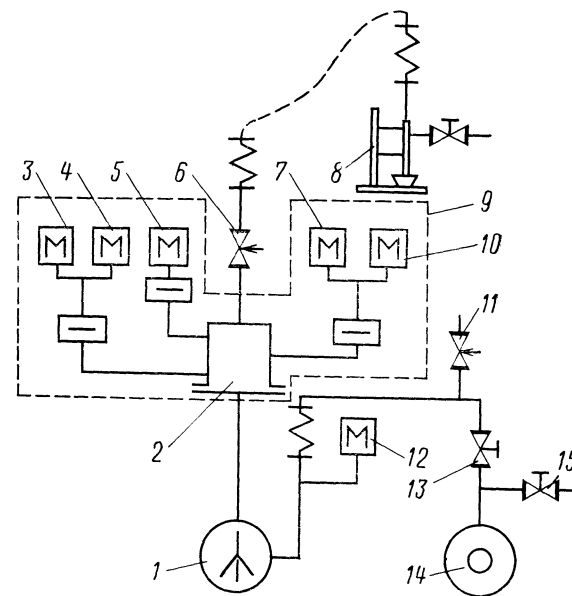


Рис. 9-8. Схема испытательного стенда для измерения основных вакуумных характеристик диффузионных насосов.

1 — испытуемый насос; 2 — измерительный колпак; 3—5, 7, 10, 12 — манометрические преобразователи; 6, 11 — натекатели; 8 — устройство для измерения потока газа; 9 — нагреватель (только для насосов, предназначенных для прогреваемых систем); 13, 15 — клапаны; 14 — форвакуумный насос

Измерительный колпак присоединяется непосредственно к впускному патрубку насоса. Если испытывается агрегат или диффузионный насос с ловушкой, то измерительный колпак устанавливается соответственно на затворе или на ловушке.

В ходе испытаний измеряют предельное остаточное давление, быстроту действия и наибольшее выпускное

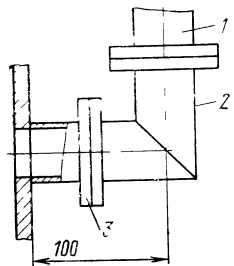


Рис. 9-9. Установка прогреваемого манометрического преобразователя на измерительном колпаке.

1 — манометрический преобразователь; 2 — дополнительный угловой патрубков; 3 — патрубков с фланцем измерительного колпака.

зять газовыделение измерительной аппаратуры и оценить истинные возможности испытуемого насоса. После достижения и измерения предельного остаточного давления приступают к измерению быстроты действия. Процесс измерений был изложен выше в § 1 и 2 настоящей главы. Завершают испытания измерением наибольшего выпускного давления.

#### 9-4. Магнитные электроразрядные и геттерно-ионные насосы

Испытания магниторазрядных, геттерных и геттерно-ионных насосов имеют ту особенность, что измерение потока газа при измерении быстроты действия насосов обычно производится с помощью диафрагмы. Измерительный колпак в этом случае состоит из измерительной и напускной камер, разделенных диафрагмой. Напускная камера фактически является стандартным измерительным колпаком, с помощью которого, например, производится измерение быстроты действия диффузионных насосов, предназначенных для применения в прогреваемых системах. Измерительная камера отличается от напускной тем, что вместо торцевой стенки с напускной трубкой имеется фланец, «ответный» фланцу напускной камеры, и высота ее равна  $1D$ .

давление. Испытания проводятся в следующей последовательности. Готовятся испытуемый насос и испытательная аппаратура. Монтируется специальный испытательный стенд по схеме рис. 9-8. Достигается и измеряется предельное остаточное давление. Для достижения предельного остаточного давления обязателен прогрев всей высоковакуумной части испытательного стенда, причем завершающую стадию прогрева завершающую стадию прогрева желателно проводить при откачке испытуемым насосом и к испытаниям приступать, не выключая его. Последнее делается для того, чтобы предельно снизить газовыделение измерительной аппаратуры и оценить истинные возможности испытуемого насоса.

Испытания проводятся на стенде, схема которого показана на рис. 9-10. В ходе испытаний измеряют предельное остаточное давление, быстроту действия, наибольшее рабочее давление и наибольшее давление запуска. Последовательность испытаний по определению предельного остаточного давления и быстроты действия такая же, как и при испытаниях диффузионных насосов. В конце испытаний по определению быстроты действия производят измерение наибольшего давления. Завершают испытания измерением наибольшего давления запуска. Методика и последовательность испытаний при измерении наибольшего рабочего давления и наибольшего давления запуска были изложены в § 1 настоящей главы.

Аналогично проводятся испытания геттерных насосов. Когда возникает необходимость в измерении основных вакуумных характеристик при откачке определенного газа к натекателю, на измерительном колпаке присоединяют систему напуска пробного газа. Перед испытаниями промывают систему пробным газом. Промывка заключается в том, что в работающий насос через натекатель 4 (рис. 9-10) подают пробный газ до давления в измерительном колпаке около  $10^{-4}$  Па ( $10^{-6}$  мм рт. ст.). Дают насосу некоторое время поработать в этом режиме, после чего приступают к измерению вакуумных характеристик. Последовательность и методика измерений остаются прежними.

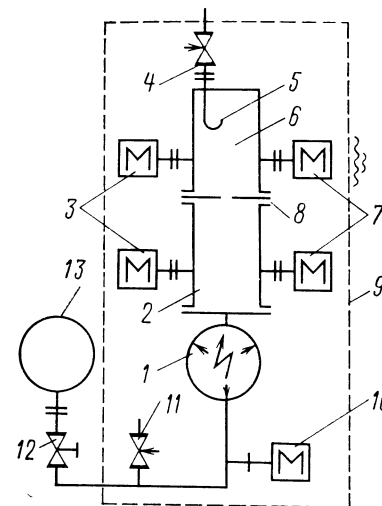


Рис. 9-10. Схема испытательного стенда для измерения основных вакуумных характеристик магнитных электроразрядных и геттерно-ионных насосов.

1 — испытуемый насос; 2 — измерительная камера; 3, 7, 10 — манометрические преобразователи; 4, 11 — натекатели; 5 — напускная трубка; 6 — напускная камера; 8 — диафрагма; 9 — нагреватель; 12 — прогреваемый клапан; 13 — средства предварительного разрежения

**ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ**

Охрана труда в нашей стране является важнейшей социально-экономической проблемой. Она предусматривает широкий круг мероприятий, как правовых, технических, так и санитарно-гигиенических, направленных на обеспечение безопасных для здоровья условий труда на производстве.

Быстрое развитие отечественной электроники и вакуумной техники, перевод промышленности на автоматические системы управления технологическими процессами вызвали необходимость совершенствования техники безопасности и производственной санитарии в электровакуумном производстве.

На вакуумное оборудование, включающее различные средства откачки — механические, струйные, электрофизические насосы и прочие элементы — и имеющее электропитание от нескольких вольт до десятков киловольт, распространяются Правила технической эксплуатации электроустановок и техники безопасности при их эксплуатации, а также специфические правила по технике безопасности и производственной санитарии в электронной промышленности.

**10-1. Организация работ по охране труда и технике безопасности на предприятиях**

Общее руководство и ответственность за организацию работ и состояние техники безопасности, производственной санитарии, а также контроль за организацией работ в этих областях на предприятиях возлагаются на директора и главного инженера. Они обязаны организовать работу по охране труда и технике безопасности на предприятии и обеспечить выполнение действующих правил, норм и инструкций. Они также обязаны обеспечить регулярную проверку состояния техники безопасности и производственной санитарии в подразделениях предприятия, обучение и проверку знаний административно-технического персонала, своевременное расследование и учет несчастных случаев. В свою очередь руководителям подразделений (начальникам отделов, цехов, лабораторий) вменяется в обязанность создать здоровые и безопасные условия труда на всех участках. Они несут ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования и инструмента. Кроме того, на них возлагается обеспечение рабочих качественной спецодеждой, спецобувью и всеми предохранительными приспособлениями.

На мастеров и других руководителей производственных участков возлагается обязанность обеспечить организацию работ и рабочих мест, правильную расстановку оборудования, подготовку инструмента, ограждений, экранирующих устройств. Они также несут ответственность за качественное и своевременное проведение инструктажа.

Высококвалифицированные откачки-вакуумщики и наладчики оборудования электровакуумного и полупроводникового производства, имеющие пятые тарифные разряды, не только ведут самостоятельно работы по обслуживанию и наладке установок, но и имеют в своем подчинении работников более низкой квалификации, являясь по сути дела мастерами производственных участков.

Одной из важнейших задач, обеспечивающих выполнение норм и правил по технике безопасности, является осуществление трехсту-

пенчатого контроля, когда первую его ступень ежедневно осуществляет мастер, вторую еженедельно — начальник подразделения и третью — главный инженер.

Предотвращение несчастных случаев, производственного травматизма и предупреждение профессиональных заболеваний требуют от всех работающих знаний и строгого выполнения положений, инструкций и требований по технике безопасности и производственной санитарии, а от руководителей четкого и своевременного проведения инструктажа. По видам инструктаж делится на вводный, первоначальный, очередной, перед вновь поручаемой работой и внеочередной.

*Вводный инструктаж* проводится службой техники безопасности при поступлении на работу для всех рабочих, служащих и инженерно-технических работников. Инструктируемого знакомят с основными положениями трудового законодательства, с условиями работы на предприятии, основными требованиями вакуумной и личной гигиены, мерами предосторожности при работе с радиоэлектрооборудованием.

*Первичный инструктаж* на рабочем месте проводится для лиц, вновь поступающих в цех (отдел), а также переводимых на другую работу. Работника знакомят с предстоящей работой, обучают безопасным способам и приемам ее выполнения, прорабатывают с ним инструкции, правила и положения, принятые на данном участке работы.

*Периодический (повторный) инструктаж* проводится для всех сотрудников, работающих на оборудовании, 1 раз в 3 мес, а для неработающих на оборудовании 1 раз в 6 мес.

*Инструктаж перед вновь поручаемой работой* проводится непосредственно перед началом этой работы. При этом работника знакомят с особенностями работы, оборудованием, инструментом, способами безопасного ведения технологического процесса, с защитными средствами и устройствами, применяемыми на данной работе.

*Внеплановый инструктаж* проводится для тех лиц, которые нарушили правила и требования техники безопасности. Кроме того, внеочередной инструктаж проводится со всеми сотрудниками подразделения, если на предприятии произошло грубое нарушение правил техники безопасности, приведшее к тяжелому увечью или несчастному случаю со смертельным исходом.

Все виды инструктажа (кроме вводного) регистрируются в цеховом журнале инструктажа.

**10-2. Электробезопасность и техника безопасности при работе с радиоэлектронным оборудованием**

Воздействие электрического тока на организм человека может привести к различным видам поражения. В зависимости от величины тока, направления прохождения его через тело человека (вдоль тела или поперек), продолжительности воздействия, а также от физического состояния самого человека и состояния среды, в которой он находится, электрический ток может нанести два вида поражений: электрические удары, электрические травмы.

Воздействие на человека тока, величина которого превышает 0,1 А, может оказаться смертельным. Меньшие токи могут нанести травмы в виде ожога (тепловое), электролиза в организме (химиче-

ское), разрыва тканей, мышц, костей (механическое воздействие). Воздействие электрического тока может нарушить нормальную работу нервной системы, легких, сердца (физиологическое воздействие).

Состояния организма и окружающей среды являются важнейшими факторами, определяющими безопасность человека при воздействии на него электрического тока. Если в нормальном состоянии организм человека, его кожный покров, имеет электрическое сопротивление от 50 000 до 100 000 Ом, то при высокой температуре тела человека, нарушении психического состояния (сильной нервозности, возбудимости, расслабленности, например, после принятия спиртных напитков), а также при наличии в окружающей среде большой концентрации газа, пыли, жидкости сопротивление организма человека резко понижается и доходит до десятков ом. Поэтому при допуске человека на работу с электрорадиотехническим оборудованием необходимо проверить состояние его здоровья и предупредить о наличии имеющихся факторов опасности. Очень важно также знать, в каком помещении работает человек, какому риску он при этом подвергается, с каким инструментом и защитными средствами может работать.

Все производственные помещения по степени опасности делятся на помещения, не имеющие факторов опасности, помещения повышенной опасности и особо опасные.

К помещениям повышенной опасности относятся такие помещения, которые характеризуются наличием одного из следующих признаков опасности: высокой влажности (75—85%), высокой температуры (свыше 35°C), большого количества металлоконструкций или токопроводящих полов.

К помещениям особо опасным относятся такие помещения, в которых влажность воздуха близка к 100%, имеется химическая активная среда или одновременно имеют место два или более признаков, характеризующих помещения с повышенной опасностью.

Исходя из условий, что среднее значение электрического сопротивления человеческого организма принято равным 1000 Ом, безопасным напряжением при работе с электронным инструментом в вышеуказанных производственных помещениях является напряжение до 40 В. Стандартными напряжениями в нашей стране являются напряжения 12, 24 и 36 В, причем в особо опасных помещениях разрешается работать с напряжением 12 В, в помещениях с повышенной опасностью — с напряжением 24 и 36 В.

Проведение работ на электроустановках (в том числе радиоэлектронном и технологическом оборудовании) осуществляется в строгом соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности и производственной санитарии в электронной промышленности». Последние учитывают особенности отрасли и специфику радиоэлектронного оборудования. Все вышеуказанные «Правила» распространяются на работы с действующими электроустановками и радиоэлектронным оборудованием.

Действующими считаются такие установки, которые содержат в себе источники электроэнергии (химические, гальванические), которые находятся под напряжением частично или полностью или на которые в любой момент может быть подано напряжение включением коммутационной аппаратуры.

В отношении мер безопасности оборудование разделяется на установки с напряжением до 1000 В включительно и установки с напряжением выше 1000 В. К обслуживанию оборудования допускаются только лица, прошедшие обучение и проверку знаний в квалификационной комиссии предприятия. Комиссия присваивает сотруднику квалификационную группу от II до V и выдает удостоверение, дающее право работать на оборудовании с напряжением до 1000 В или выше 1000 В. Проверка знаний проводится индивидуально и результаты проверки оформляются в специальном журнале. Периодичность проверки знаний по всем «Правилам» для персонала, непосредственно обслуживающего действующие установки или проводящего в них наладочные, монтажные или ремонтные работы, установлена 1 раз в год. Для остальных работников периодичность проверки знаний установлена 1 раз в 3 года. Сотрудники, не прошедшие проверки знаний по безопасным методам работы, и сотрудники, имеющие I квалификационную группу, допускаются к работе только на таком оборудовании, в котором нет электрических цепей и устройств с напряжением переменного тока выше 12 В или постоянного тока выше 100 В.

По обеспечению мер безопасности и организации работ радиоэлектронное оборудование делится на малогабаритное и крупногабаритное.

К малогабаритному относится оборудование одноблочного и многоблочного исполнения, которое по своему виду и габаритам может быть размещено на рабочем столе или около него на стойке со вставными блоками, габаритные размеры которой в плане не должны превышать 700×700 мм. Все остальное оборудование относится к крупногабаритному.

Производство работ с радиоэлектронным оборудованием можно разделить на следующие виды: управление оборудованием, техническое обслуживание, ремонт, наладка и экспериментальные работы.

При управлении оборудованием допускается выполнение операций постановки (и снятия) изделий на места их обработки, соединения (и отъединения) изделий с электрической и технологической частью оборудования, включение и отключение оборудования, манипуляции органами управления на наружных панелях и пультах измерения параметров режима работы оборудования и обрабатываемого изделия, а также выполнение различных вспомогательных операций, необходимых для выполнения технологического процесса.

К техническому обслуживанию оборудования относятся операции включения и отключения оборудования и его осмотра, замены предохранителей, сигнальных ламп, электронных и ионных и полупроводниковых приборов, ионизационного вакуумметра, электрохимических и радиотехнических элементов, подсоединение и отъединение геттерно-ионных и магнитоэлектронных вакуумных насосов, а также устранение отдельных неисправностей в цепях управления, синхронизации, блокировки и измерения.

В ремонт оборудования включаются работы по устранению дефектов, которые не входят в перечень работ, выполняемых в порядке технического обслуживания.

К наладке оборудования относятся работы по выявлению и устранению дефектов деталей и узлов оборудования, в том числе их замена, включение оборудования и проверка его работоспособности, испытание на прочность, измерение параметров электрической

схемы и режимов работы электронных, ионных и полупроводниковых приборов, а также регулировка подстроенных элементов.

При экспериментальной работе проверяется работоспособность оборудования, осуществляется макетирование и обслуживание его, а также оснащение вновь разработанного технологического процесса необходимым оборудованием.

Действующие установки (оборудование) должны отвечать всем требованиям техники безопасности, изложенным в «Правилах». Среди прочих факторов особое внимание необходимо обратить на следующее.

Все оборудование (агрегаты, системы, машины, приборы), в том числе ременные, цепные и другие передачи, должно быть надежно ограждено. Передачи, размещенные внутри оборудования, должны быть закрыты со всех сторон. Крышки, дверцы для доступа к таким передачам должны быть открывающегося типа. Все ограждения окрашиваются под цвет оборудования, а места, подлежащие закрытию, окрашиваются в красный цвет. Для окраски оборудования следует подбирать светлые, радующие глаз человека тона.

Приспособления для пуска и останова оборудования располагаются таким образом, чтобы ими было легко пользоваться непосредственно с рабочего места. При кнопочном включении и выключении оборудования кнопки включения «утоплены» на 3—5 мм за габариты пусковой коробки, а кнопки останова на 3 мм выступают над ней, при этом последние имеют надпись «Стоп» и окрашены в красный цвет.

Одним из важнейших факторов обеспечения безопасной работы является требование обязательного заземления всех неизолированных частей установок: корпусов электромашин, трансформаторов, приборов, аппаратов, каркасов распределительных щитов, шкафов управления и других металлоконструкций оборудования.

При производстве работ с электротехническим и радиоэлектронным оборудованием каждое рабочее место должно быть обеспечено необходимыми для данной работы защитными средствами.

К защитным средствам относятся приборы, аппараты, переносные приспособления и устройства, служащие для защиты персонала, работающего на электроустановках, от поражения электрическим током, электрической дуги и т. п.

Защитные средства делятся на четыре группы:

1-я группа — изолирующие защитные средства. К ним относятся изолирующие штанги, изолирующие клещи для операций с предохранителями, резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки;

2-я группа — персональные указатели напряжения, токоизмерительные клещи;

3-я группа — переносные временные защитные заземления, ограждения, предупредительные плакаты;

4-я группа — защитные средства от воздействия электрической дуги; продуктов ее горения и механических повреждений. К ним относятся защитные очки, брезентовые рукавицы, противогазы, респираторы, предохранительные пояса, монтерские когти.

В свою очередь изолирующие защитные средства делятся на основные защитные средства и дополнительные защитные средства.

Основными защитными средствами называются такие защитные средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и при помощи которых допускается касание токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Дополнительными защитными средствами называются такие защитные средства, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить безопасность от поражения электрическим током. Они являются дополнительной мерой защиты к основным средствам.

К основным изолирующим защитным средствам, применяемым при работе на установках с напряжением до 1000 В включительно, относятся диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками, указатели напряжений. К дополнительным изолирующим защитным средствам, применяемым при работе на электроустановках с напряжением до 1000 В включительно, относятся диэлектрические галоши, коврики, изолирующие подставки.

К основным изолирующим защитным средствам, применяемым при работе на установках с напряжением выше 1000 В, относятся изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, указатели напряжений. К дополнительным изолирующим защитным средствам, применяемым при работе на установках с напряжением выше 1000 В, относятся диэлектрические перчатки, боты, коврики, изолирующие подставки.

Все защитные средства, находящиеся в эксплуатации, должны храниться в условиях, обеспечивающих их исправность и пригодность к употреблению. На предприятиях должен вестись строгий учет всех изолирующих защитных средств, а также их периодический осмотр и испытания. Пользоваться изолирующими защитными средствами можно только по их прямому назначению. Перед каждым употреблением сотрудник обязан проверить исправность защитных средств, отсутствие на них внешних повреждений, резиновые диэлектрические перчатки проверить на отсутствие проколов, а также проверить по штампу, не истек ли срок периодичности их испытаний.

Одними из действующих защитных средств при работе с электро-техническим и радиоэлектронным оборудованием являются предупредительные плакаты. Они применяются для предупреждения об опасности приближения к частям, находящимся под напряжением, для запрещения оперирования коммутационными аппаратами, для указания работающему персоналу подготовленного рабочего места.

В соответствии с назначением плакаты делятся на четыре группы: *предостерегающие* («Высокое напряжение», «Опасно для жизни», «Под напряжением. Опасно для жизни», «Стой! Высокое напряжение»);

*запрещающие* («Не влезай, убьет!», «Не включать, работают люди», «Не открывать, работают люди», «Не включать, работа на линии»);

*разрешающие* («Работать здесь», «Влезать здесь»); *напоминающие* («Заземлено»).

Следует помнить, что плакаты вывешиваются на легко обозреваемом месте и что они могут быть сняты только тем работником, который их повесил.

Несоблюдение правил технической эксплуатации электроустановок и техники безопасности непосредственно обслуживающим персоналом, даже в случаях выполнения всех профилактических и предупредительных мер, приводит к возникновению такой ситуации, при которой человек может оказаться под воздействием электрического тока. Сильное воздействие электрического тока вызывает у человека потерю сознания, приостановку работы легких и сердца (шоковое состояние, мнимая смерть). Спасение пострадавшего от электрического тока в большинстве случаев зависит от быстроты освобождения

ния его от действия тока, а также от быстроты и правильности оказания пострадавшему первой помощи. Промедление влечет за собой тяжелые последствия и даже гибель пострадавшего.

Часто прикосновение к находящимся под напряжением токоведущим частям вызывает у человека непроизвольное сокращение мышц, вследствие чего его пальцы сжимаются, сильно охватывая токоведущий провод. Если пострадавший на данный момент продолжает соприкасаться с токоведущими частями, необходимо прежде всего освободить его от воздействия электрического тока. Первым действием человека, оказывающего помощь, должно быть немедленное отключение установки, которой касается пострадавший. Если отключение установки не может быть произведено быстро, необходимо отделить пострадавшего от токоведущих частей. При этом следует иметь в виду, что прикасаться к человеку, находящемуся под током, без принятия мер предосторожности опасно для жизни человека, оказывающего помощь. При отделении пострадавшего от токоведущих частей следует пользоваться защитными средствами, сухой одеждой, палкой или доской, надев предварительно на руки диэлектрические перчатки. Отделение пострадавшего рекомендуется производить одной рукой, не допуская при этом возможности его падения.

Применяемые меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего; определяя состояние пострадавшего, необходимо, положив его спиной на твердую поверхность, проверить наличие пульса и дыхания. Если пострадавший находится в сознании или в бессознательном состоянии, но сохраняет устойчивое дыхание, его следует удобно уложить, расстегнуть одежду и, обеспечив приток свежего воздуха, создать полный покой до прихода врача.

При отсутствии у пострадавшего признаков жизни (кажущаяся смерть) ему оказывается первая помощь в виде искусственного дыхания. В настоящее время наиболее эффективным методом искусственного дыхания является метод, при котором оказывающий помощь вдвухает выдыхаемый им воздух в рот пострадавшего. В этом случае пострадавшего укладывают спиной на жесткую поверхность и расстегивают стесняющую дыхание одежду. Оказывающий помощь встает на колени, запрокидывает голову пострадавшего назад, очищает его рот от слизи. Сделав глубокий вдох, оказывающий помощь зажимает пострадавшему нос и через марлю или платок с силой выдыхает воздух в рот пострадавшего. Затем следует произвольный выдох пострадавшего. Одновременно производится массаж сердца, заключающийся в ритмичном надавливании руками, наложенными одна на другую, на нижнюю левую часть груди (5—6 надавливаний в период произвольного выдоха). Искусственное дыхание следует продолжать до прихода врача.

Как указывалось выше, ток может нанести травму в виде ожога (тепловое воздействие). Этот фактор поражения обусловлен возникновением пожара при работе с электроустановками и радиоэлектронным оборудованием. Обычно причинами возникновения пожаров в электроустановках и радиоэлектронном оборудовании являются короткое замыкание, перегрузка на линии и в проводах, искрение в электродвигателе и коммутационной аппаратуре. Поэтому во время эксплуатации оборудования необходимо обращать особое внимание на правильный выбор плавких предохранителей, токовой и тепловой защиты. При возникновении пожара применяются все меры его локализации. Необходимо отключить электропитание на всех

участках, прилегающих к очагу пожара, и сообщить о возникновении пожара в пожарную команду. Для самостоятельной ликвидации очага пожара нужно пользоваться углекислотными огнетушителями типов ОУ-2, ОУ-5 и ОУ-8. Пользоваться водой для ликвидации очага пожара, возникшего в электроустановках и радиоэлектронном оборудовании, категорически воспрещается.

Если во время пожара или в процессе его устранения человек получил ожог, ему необходимо оказать первую помощь. Ожоги бывают трех степеней: легкое покраснение кожи, появление волдырей, обугливание и омертвление кожного покрова. При ожогах второй и третьей степеней надо осторожно снять с пострадавшего одежду. На обожженную поверхность наложить мягкую сухую повязку. При этом нельзя касаться руками обожженных участков и смазывать их какими-либо мазями, маслами, вазелином. После наложения повязки пострадавшего следует направить в ближайший медицинский пункт или любое другое лечебное учреждение.

При поражении слизистой оболочки глаз электрической дугой пострадавшему следует делать холодные примочки из раствора борной кислоты.

### 10-3. Основы производственной санитарии

В проекты всех строящихся или реконструируемых предприятий закладываются требования «Строительных норм и правил» (СНиП) и «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий».

Руководители и соответствующие службы действующих предприятий систематически проверяют санитарно-гигиенические условия труда и принимают меры по исключению превышения предельно допустимых норм и уровней факторов вредности. В соответствии с санитарными нормами (СН245-71) в воздухе рабочей зоны (пространство высотой до 2 м над уровнем пола) производственных помещений установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ [22]. Предельно допустимой концентрацией вредного вещества в воздухе рабочей зоны называется такая концентрация вещества, которая при ежедневной работе по 8 ч в день в течение всего рабочего стажа не может вызвать у работающих заболеваний. Ниже приводим нормы предельно допустимой концентрации (ПДК) некоторых наиболее часто встречающихся вредных веществ в воздухе рабочей зоны (величина ПДК измеряется в мг/м<sup>3</sup>): аммиак — 20; ацетон — 200; бензин — 300; вольфрам — 6; дихлорэтан — 10; молибден — 2—6; никель и его окислы — 0,5; ртуть металлическая — 0,01; свинец — 0,01; серная кислота — 1; соляная кислота — 5; спирт этиловый — 1000; углерод четыреххлористый — 20; щелочи едкие — 0,5; тантал и его окислы — 10; титан и его двуокись — 10; алюминий и его сплавы — 2.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества делятся на чрезвычайно опасные, высоко опасные, умеренно опасные и малоопасные. Ниже приводятся симптомы отравления некоторыми вредными веществами и меры оказания первой помощи при острых отравлениях этими веществами.

Кислоты концентрированные. При вдыхании паров кислот появляются насморк, чихание, чувство жжения в горле, охриплость, кашель. Попадание кислоты на кожу вызывает ожоги, а в глаза — резкую боль, слезотечение.



Оказывая первую помощь пострадавшему, необходимо его вывести в теплое проветриваемое помещение или на свежий воздух, освободить от стесняющей одежды. Промыть 2%-ным раствором питьевой соды нос, рот, глотку и дать теплого молока с содой. При попадании кислот на кожу необходимо промыть пораженное место проточной водой и наложить мягкую повязку.

**Аммиак.** Пары аммиака сильно раздражают верхние дыхательные пути, слизистую оболочку глаз, а высокая концентрация вызывает ожог горла, глаз, носовой полости. При отравлении аммиаком человек вначале приходит в состояние сильного возбуждения, а потом у него падает сердечная деятельность, слабеет пульс и холодеет тело. При попадании на кожу аммиак вызывает ожог.

Оказывая первую помощь пострадавшему при поражении аммиаком, необходимо в первую очередь вынести его на свежий воздух, освободить от стесняющей дыхание одежды, напоить теплым молоком с содой, которое способствует улучшению состояния пострадавшего. При попадании аммиака на кожу или слизистую оболочку глаз необходимо пораженное место немедленно промыть проточной водой.

**Ртуть и ее соединения.** При отравлении парами ртути у человека через некоторое время появляются общее недомогание, головная боль, тошнота, слюнотечение, насморк, кашель, рвота, понос. Характерно покраснение, набухание и кровотечение десен.

При оказании первой помощи пострадавшему необходимо вынести на свежий воздух, обеспечив ему полный покой. Если ртуть попала в желудок, пострадавшему дают молоко, взбитый с водой яичный белок, а затем слабительное.

Кроме вышеуказанной вредности токсичных веществ, на здоровье человека, его физическое состояние и утомляемость во время работы оказывают действие такие факторы, как шум, вибрация, освещенность, метеорологические условия, физическая и умственная нагрузка, режим полного рабочего времени и отдыха и т. д.

В нашем государстве для снижения утомляемости и повышения производительности труда работающих осуществлен переход на 41-часовую рабочую неделю, увеличена продолжительность ежегодного отпуска, сокращена и четко регламентирована продолжительность рабочего времени подростков, рабочих и служащих, занятых на работах с вредными условиями труда, резко ограничены сверхурочные работы.

Благоприятные условия труда также способствуют снижению утомляемости, поддержанию нормального здоровья и повышению производительности труда. В производственных помещениях температура воздуха должна быть 17—22°C при относительной влажности 30—75%. Избыток тепла не должен превышать 20 ккал/(м<sup>3</sup>·ч) при скорости движения воздуха не более 0,2 м/с. Весьма отрицательно сказываются на работоспособности человека, быстро его утомляют вибрация и шум. Величина шума не должна превышать 75 дБ.

Длительное воздействие производственного шума на человека приводит к частичной, а иногда к значительной потере слуха — профессиональной тугоухости, к нарушению артериального давления и ритма сердечной деятельности. Шум вызывает замедление психической реакции и понижение внимания, в результате чего наблюдается снижение производительности труда и повышение производственного травматизма.

Известно, что под действием длительного систематического шума высокого уровня производительность труда в ряде случаев снижается до 60%, а число ошибок в расчетных работах увеличивается более чем на 50%.

Очень важным фактором поддержания работоспособности человека, обеспечивающим в процессе всего рабочего цикла выпуск качественной продукции является освещаемость рабочего места. Освещение должно быть общим или комбинированным. В качестве источников света следует использовать преимущественно люминесцентные лампы. В производственных помещениях допускается применение одного искусственного освещения только в тех случаях, когда это требуется по условию выполнения специальной технологии.

Правильный выбор светильников, их расположения, обеспечение достаточной освещенности (300—500 лк) рабочего места дадут возможность максимально продуктивно использовать все рабочее время.

## Переходные коэффициенты для единиц давления

Единицы измерения	Па	мм рт. ст.	мкм рт. ст.	бар	атм	ат
Па [Н/м <sup>2</sup> ]	1	7,5·10 <sup>-3</sup>	7,5	10	0,987·10 <sup>-5</sup>	1,03·10 <sup>-5</sup>
мм рт. ст. (тор)	133,32	1	10 <sup>3</sup>	1,33·10 <sup>3</sup>	1,32·10 <sup>-3</sup>	1,39·10 <sup>-3</sup>
мкм рт. ст.	1,33·10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	1,33	1,32·10 <sup>-6</sup>	1,39·10 <sup>-6</sup>
бар	10 <sup>-1</sup>	7,5·10 <sup>-4</sup>	7,5·10 <sup>-1</sup>	1	0,987·10 <sup>-6</sup>	1,03·10 <sup>-6</sup>
атм (физическая — 760 мм рт. ст.)	1,01·10 <sup>5</sup>	7,6·10 <sup>2</sup>	7,6·10 <sup>5</sup>	1,01·10 <sup>6</sup>	1	1,033
ат (техническая — [кг/см <sup>2</sup> ])	0,98·10 <sup>5</sup>	7,36·10 <sup>2</sup>	7,36·10 <sup>5</sup>	0,981·10 <sup>6</sup>	0,9688	1

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Переходные коэффициенты для единиц потока газа

Единицы измерения	Вт	л·мкм рт.ст/с	л·мм рт. ст/с	эрг/с	л атм/с	см <sup>3</sup> ·атм/с	см <sup>3</sup> ·атм/ч
Вт [м <sup>3</sup> ·Па/с]	1	7,6·10 <sup>3</sup>	7,6	10 <sup>7</sup>	1·10 <sup>-2</sup>	10	3,6·10 <sup>4</sup>
л·мкм рт. ст/с	1,32·10 <sup>-4</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	1,32·10 <sup>3</sup>	1,32·10 <sup>-6</sup>	1,32·10 <sup>-3</sup>	4,74
л·мм рт. ст/с	1,32·10 <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup>	1	1,32·10 <sup>6</sup>	1,32·10 <sup>-3</sup>	1,32	4,74·10 <sup>3</sup>
эрг/с	10 <sup>-7</sup>	7,6·10 <sup>-4</sup>	7,6·10 <sup>-7</sup>	1	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	3,6·10 <sup>-3</sup>
см <sup>3</sup> ·атм/с	10 <sup>-1</sup>	7,6·10 <sup>2</sup>	7,6·10 <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	3,6·10 <sup>3</sup>
л·атм/с	10 <sup>2</sup>	7,6·10 <sup>5</sup>	7,6·10 <sup>2</sup>	10 <sup>9</sup>	1	10 <sup>3</sup>	3,6·10 <sup>6</sup>
см <sup>3</sup> ·атм/ч	2,78·10 <sup>-5</sup>	2,11·10 <sup>-1</sup>	2,11·10 <sup>-4</sup>	2,78·10 <sup>2</sup>	2,78·10 <sup>-7</sup>	2,78·10 <sup>-4</sup>	1

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## Некоторые характеристики отечественных вакуумных масел

Марка масла	В каких насосах используется	Молекулярная масса	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Давление пара при 20°С		Вязкость кинематическая при 30°С, 10 <sup>-6</sup> м <sup>2</sup> /с	Темперота паробразования, Дж/К·моль
				Па	мм рт. ст.		
Минеральные: ВМ-1 ВМ-2 ВМ-3 ВМ-4 ВМ-5 ВМ-6 ВМ-7 Г	Диффузионных	450	870	5,3·10 <sup>-6</sup> —2,66·10 <sup>-7</sup>	4·10 <sup>-8</sup> —2·10 <sup>-9</sup>	65—69	1,15·10 <sup>5</sup>
	То же	450	870	5,3·10 <sup>-6</sup> —2,66·10 <sup>-7</sup>	4·10 <sup>-8</sup> —2·10 <sup>-9</sup>	65—69	1,15·10 <sup>5</sup>
	Бустерных	—	850	1,3·10 <sup>-2</sup> —1,3·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-4</sup> —1·10 <sup>-5</sup>	7—10	1,13·10 <sup>5</sup>
	Механических	—	—	6,6·10 <sup>-4</sup> —1,3·10 <sup>-3</sup>	5·10 <sup>-6</sup> —1·10 <sup>-5</sup>	45—57	—
	Диффузионных	450	870	1,3·10 <sup>-6</sup> —1,3·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-8</sup> —1·10 <sup>-9</sup>	—	—
	Механических	—	—	1,3·10 <sup>-6</sup> —4,10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-8</sup> —3·10 <sup>-7</sup>	30—40	—
	Диффузионных	—	—	4·10 <sup>-6</sup>	3·10 <sup>-8</sup>	80—95	—
Бустерных	350	850	6,6·10 <sup>-3</sup> —1,3·10 <sup>-4</sup>	5·10 <sup>-5</sup> —1·10 <sup>-6</sup>	12,5—15,3	1·10 <sup>-5</sup>	
ТМ-1	Турбомолекулярных	—	—	8,8·10 <sup>-3</sup>	6,6·10 <sup>-5</sup>	6—9	—
Сложные эфиры: продукт ОФ продукт ОС 5Ф4Э	Диффузионных	390	980	1,3·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	—	—
	То же	426	910	2,7·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-8</sup>	8,5	—
	То же	446	1200	1,3·10 <sup>-9</sup>	1·10 <sup>-11</sup>	130	—
Кремнийорганические: ПЭС-В-1 (ВКЖ-94А) ПЭС-В-2 (ВКЖ-94Б) ПФМС-1 ПФМС-2/5л	То же	700	970	6,6·10 <sup>-6</sup>	5·10 <sup>-8</sup>	16—33	1,19·10 <sup>5</sup>
	То же	700	970	1,3·10 <sup>-6</sup> —1,3·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-8</sup> —1·10 <sup>-6</sup>	16—33	—
	Бустерных	700	1000	1,3·10 <sup>-9</sup> —9,3·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-5</sup> —7·10 <sup>-5</sup>	3,6—4,6	1,13·10 <sup>5</sup>
	Диффузионных	700	1050—1070	6,6·10 <sup>-7</sup> —9,3·10 <sup>-5</sup>	5·10 <sup>-9</sup> —7·10 <sup>-7</sup>	8—13	1,24·10 <sup>5</sup>
ФМ-1	То же	546,9	1096	1,3·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-10</sup>	35—37	—

## Основные характеристики механических вакуумных насосов с масляным уплотнением

Характеристики	Тип насоса							
	ВН-401	ВН-461М	ВН-0,8Г	РВН-20	НВР-0,25Д (ВН-0,25-2)	НВР-0,5Д (ВН-0,5-2)	НВР-1Д (ВН-1-2)	НВР-3Д (ВН-3-2)
Число ступеней	2	2	2	2	2	2	2	2
Быстрота действия в интервале давлений $10^2 - 10^5$ Па, л/с	0,21	0,78	0,78	2,6	0,25	0,5	1,0	3,0
Остаточное давление, Па: полное: с газобалластом без газобалласта	—	—	4,0	—	1,3	1,3	1,3	1,3
парциальное по воздуху	2,6	2,6	2,6	4,0	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$
Количество масла ВМ-4 или ВМ-6, заливаемое в насос, л	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$
Наибольшее парциальное давление паров воды на входе насоса, Па	1,5	2,3	2,3	0,5	0,85	1,2	2,3	4,7
Расход охлаждающей воды, л/ч	—	—	—	—	2,3	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$\cdot 10^3$

## Продолжение прилож. 4

Характеристики	Тип насоса							
	НВР-5Д (ВН-6-2 и ВН-6-2М)	ВН-1МГ	ВН-4Г, ВН-7	ВН-6Г, ВН-6ГМ	НВЗ-300 (ВН-300 и ВН-300М)	НВЗ-500 (ВН-500 и ВН-500М)	ВН-10-2	ВН-10-1
Число ступеней	2	2	1	1	1	1	2	1
Быстрота действия в интервале давлений $10^2 - 10^5$ Па, л/с	6,0	18	40	150	300	500	6	9
Остаточное давление, Па: полное: с газобалластом без газобалласта	1,3	7,1	$1,3 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	4,0	$1,1 \cdot 10^2$
парциальное по воздуху	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	—	—	6,6	6,6	$6,6 \cdot 10^{-1}$	6,6
Количество масла ВМ-4 или ВМ-6, заливаемое в насос, л	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	1,3	1,3	1,3	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$
Наибольшее парциальное давление паров воды на входе насоса, Па	5,3	3,8	16	55	80	85	0,8	1,4
Расход охлаждающей воды, л/ч	$2,3 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$
	—	—	2300	3000	5500	6500	—	—

Характеристики	Тип насоса							
	ВН-20-2	ВН-20-1	ВН-40-2	ВН-40-1	ВН-75-2	ВН-75-1	ВН-150-2	ВН-150-1
Число ступеней	2	1	2	1	2	1	2	1
Быстрога действия в интервале давлений $10^2-10^3$ Па, л/с	12	18	25	40	50	75	100	150
Остаточное давление, Па: полное:	4,0	$1,1 \cdot 10^2$	1,3	$1,1 \cdot 10^2$	1,3	$1,1 \cdot 10^2$	1,3	$1,1 \cdot 10^2$
с газобалластом								
без газобалласта	$6,6 \cdot 10^{-1}$	6,6	$6,6 \cdot 10^{-1}$	6,6	$6,6 \cdot 10^{-1}$	6,6	$6,6 \cdot 10^{-1}$	6,6
парциальное по воздуху	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$
Количество масла ВМ-4 или ВМ-6, заливаемое в насос, л	1,5	2,5	2,3	3,7	9,5	14	19	25
Наибольшее парциальное давление паров воды на входе насоса, Па	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$
Расход охлаждающей воды, л/ч	—	—	—	—	600	600	900	900

Основные характеристики двухроторных вакуумных насосов и агрегатов на их основе

Характеристики	Тип агрегата*		
	АВМ-5-2	АВМ-50-1	АВМ-150-1
Двухроторный вакуумный насос . . . . .	ДВН-5-2 ВН-461М (НВР-1Д)**	ДВН-50 ВН-2МГ (НВР-5Д)**	ДВН-150 ВН-1МГ
Форвакуумный насос . . . . .			
Быстрота действия в интервале давлений $6,6-1,3 \times 10^2$ Па, л/с . . . . .	7-10	40	120
Остаточное давление, Па:			
полное . . . . .	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$
парциальное по воздуху	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$
Расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	—	30	70
Количество масла ВМ-1, заливаемого в картер ДВН, л . . . . .	0,12	0,22	0,22

\* Характеристики агрегата определяются двухроторным насосом.  
\*\* До устия замена, когда двухроторный насос используется самостоятельно.

Продолжение табл. 1

Характеристики	Тип насоса			
	2ДВН-500	3ДВН-500	2ДВН-1500	3ДВН-1500
Двухроторный вакуумный насос . . . . .	—	—	—	—
Форвакуумный насос . . . . .	ВН-4Г или ВН-75-2		ВН-6Г или ВН-150-1	
Быстрота действия в интервале давлений $6,6-1,3 \times 10^2$ Па, л/с . . . . .	500		1500	
Остаточное давление, Па:				
полное . . . . .	$4 \cdot 10^{-1}$		$5,3 \cdot 10^{-1}$	
парциальное по воздуху	$6,6 \cdot 10^{-2}$		$6,6 \cdot 10^{-2}$	
Расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	—	—	—	360
Количество масла ВМ-1, заливаемого в картер ДВН, л . . . . .	4,5		4,5	

Таблица 2

Основные характеристики турбомолекулярных насосов и агрегатов на их основе

Характеристики	Тип насоса и агрегата			
	ТМН-100	ТМН-200	ТВА-200 (агрегат)	ТМН-5000
Форвакуумный насос	НВР-3Д ВН-2МГ	НВР-5Д ВН-2МГ ВН-1МГ	ВН-2МГ	АВМ-150 Н-5С ТМН-200
Быстрота действия по воздуху в диапазоне впускных давлений $6,6 \cdot 10^{-6}$ — $6,6 \cdot 10^{-1}$ Па, л/с . . .	130	250	200	5000
Остаточное давление, Па	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$
Расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	30	30	50	200
Количество заливаемого масла ТМ-1, л . . . . .	0,15	1,2	0,65	5,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица 1

Основные характеристики бустерных насосов

Характеристики	Тип насоса			
	БН-3	БН-2000	БН-4700	БН-15000
Рабочий диапазон впускных давлений, Па . . . . .	$6,6 \times 10^{-2}$ — $1,3$	$6,6 \times 10^{-2}$ — $1,3$	$6,6 \times 10^{-2}$ — $1,3$	$6,6 \times 10^{-2}$ — $1,3$
Быстрота действия при впускном давлении 1,3 Па, л/с . . . . .	450	2500	4500	15 000
Предельное остаточное давление, Па . . . . .	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$
Наибольшее выпускное давление, Па . . . . .	$4 \cdot 10^1$	$2,6 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$
Мощность нагревателя, кВт . . . . .	3,5	7,5	25,0	42,0
Оптимальный расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	180	450	1100	2000
Рабочая жидкость . . . . .	ВМ-3	ВМ-3	ВМ-3	ВМ-3
Количество заливаемого масла, л . . . . .	1,5	16	20	45
Необходимая быстрота действия форвакуумного насоса, л/с . . . . .	15	35	100	250

Таблица 2

Основные характеристики диффузионных насосов

Характеристики	Тип насоса									
	Н-0,15С	Н-1С-2	ЦВЛ-100	Н-1С-Б	Н-5СМ-1	Н-2Т	Н-5Т	Н-8Т	Н-0,5	
Рабочий диапазон давлений, Па	$2,6 \cdot 10^{-4}$ — $1,3 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$ — $1,3 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-4}$ — $4 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$ — $1,3 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^{-5}$ — $6,6 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$ — $1,3 \cdot 10^{-1}$
Быстрота действия по воздуху, л/с . . . . .	15	100	100	50	500	1500	3000	6000	500	
Предельное остаточное давление, Па . . . . .	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Наибольшее выпускное давление, Па . . . . .	$5,3 \cdot 10^1$	$5,3 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^1$	4 $10^1$	2 $10^1$	1,3 $10^1$	1,3 $10^1$	1,3 $10^1$	3,2 $10^1$	
Мощность нагревателя, кВт . . . . .	0,2	0,5	0,45	0,35	0,7	1,5	2,0	2,8	0,9	
Оптимальный расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	25	50	50	40—50	120	200	350	500	70	
Рабочая жидкость . . . . .	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1, ПФМС-2	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	
Количество заливаемого масла, л . . . . .	0,035	0,1	0,075	0,1	0,5	1,0	1,5	4,0	0,4	
Вылет масла на сторону высокого вакуума, мг/(ч см <sup>2</sup> ) . . . . .	0,1	—	0,01	0,01	—	—	—	—	—	
Необходимая быстрота действия форвакуумного насоса, л/с . . . . .	0,04	0,4	0,4	0,2	2,0	4,0	7,0	15,0	3,0	

Характеристики	Тип насоса								
	Н-2	Н-5	Н-8	Н-0,15	Н-0,025-2	НВО-40М	Н-0,25	Н-20Т	Н-40Т
Рабочий диапазон давлений, Па . . . . .	$6,6 \cdot 10^{-5}$ — $1,3 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$ — $1,3 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$ — $1,3 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$ — $1,3 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^{-4}$ — $1,3 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$ — $2,6 \cdot 10^{-2}$
Быстродействие по воздуху, л/с . . . . .	1600	3600	6600	80	10	40	120	20 000	38 000
Предельное остаточное давление, Па . . . . .	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$
Наибольшее выпускное давление, Па . . . . .	$3,2 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$6,6 \cdot 10^1$	$9,3 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$6,6 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^1$
Мощность нагревателя, кВт . . . . .	1,8	3,3	6,0	0,45	0,23	0,45	0,5	6,0	8,5
Оптимальный расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	100	190	300	50	Охлаждение воздушное		50	1000	1200
Рабочая жидкость . . . . .	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	ПФМС-2/5л	ВМ-5	ВМ-1	ПФМС-2/5л	ВМ-1	ВМ-1
Количество заливаемого масла, л . . . . .	0,9	1,7	2,5	0,1	0,02	0,1	0,13	12	20
Вылет масла на сторону высокого вакуума, мг/(ч см <sup>2</sup> ) . . . . .	—	—	—	0,02	0,02	0,1	0,02	0,05	0,05
Необходимая быстрота действия форвакуумного насоса, л/с . . . . .	8,0	25	35	1,0	0,25	0,2	3,0	10,0	30,0

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

## Основные характеристики испарительных ионно-Getterных насосов

Характеристики	Тип насоса				
	ГИН-0,5М1	ГИН-5	СОН-А-1 (орбитронный)	АВТО-20М (агрегат)	
Быстродействие по воздуху при выпускных давлениях $10^{-6}$ Па, л/с . . . . .	450	4500	500	4500	4500
Остаточное давление, Па . . . . .	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$10^{-11*}$ $10^{-8**}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-10}$
Давление запуска, Па . . . . .	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Срок службы испарителей при выпускном давлении $4 \cdot 10^{-5}$ Па, ч . . . . .	1500	3000	2000	—	—
Эффективный запас титана в насосе, г . . . . .	6	100	3	70	70
Расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	300	600	100	—	—
Расход жидкого азота, л/ч . . . . .	—	—	1,5	4,0	4,0
Тип блока питания . . . . .	БПГИН-0,5М	ПУГИН-2,5	БП-6	—	—

\* При охлаждении азотом.

\*\* При охлаждении водой.

## Основные характеристики магнеторазрядных насосов

Характеристики	Тип насоса							
	НМД-0,1-3	НМД-0,25-3J	НМДО-0,10-1	НМДО-0,025-1	НМДО-0,1	НМДО-0,25-1	НМДО-0,63-1	НМДО-0,1-1
Быстрота действия по воздуху при вакуумном давлении $10^{-4}$ Па, л/с . . . . .	100	250	10	25	100	300	600	120*, 200**
Остаточное давление, Па . . . . .	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$ $1 \cdot 10^{-9}$ **
Наибольшее рабочее давление, Па . . . . .	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$
Давление запуска, Па	$1,3 \cdot 10^0$	$1,3 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^0$	$6,6 \cdot 10^0$
Расход охлаждающей воды, л/ч . . . . .	—	—	50	50—100	100—150	150—200	350	100
Расход жидкого азота, л/ч . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	0,5
Тип блока питания . . .	БПНЭМ 100-3	БПНЭМ 300-3	БП-10	БП-25	БП-100	БП-100	БП-500***	БП-150

\* При охлаждении водой.

\*\* При охлаждении азотом.

\*\*\* Составит из четырех блоков ГП-100.

## Физико-механические и вакуумные характеристики резин

Характеристики	Тип резины									
	7889	9024	ИРП-1015	ИРП-2044	ИРП-1289	ИРП-1118	ИРП-2043	51-1433	ИРП-1368	ИРП-1399
Относительное остаточное удлинение, % (не более)	20	17	20	12	10	8	10	10	10	10
Условно-равновесный модуль, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	24	45	34	55	45	84	70	40—50	30—40	40—50
Твердость по ТШР, усл. ед.	—	—	—	—	—	—	60—75	55—70	55—65	55—65
Температурный диапазон работоспособности, °С . . . . .	$-40 \div +70$	$-35 \div +70$	$-25 \div +70$	$-60 \div +70$	$-60 \div +70$	$-60 \div +70$	$-70 \div +150$	$-60 \div +200$	$-50 \div +250$	$-50 \div +250$
Коэффициент линейного расширения . . . . .	—	—	—	—	—	$1,57 \cdot 10^{-4}$	—	$2,54 \cdot 10^{-4}$	—	$2,44 \cdot 10^{-4}$
Стойкость к маслу и бензину . . . . .	Не стойкая	Масло-стойкая	Маслобензостойкая	Не стойкая	Не стойкая	Не стойкая	Маслобензостойкая	—	Не стойкая	—
Скорость газовойдесорции при максимальной рабочей температуре, Вт/см <sup>2</sup> . . . . .	$5,3 \cdot 10^{-9}$	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$5,3 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$4,8 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$4,5 \cdot 10^{-9}$
Проницаемость по азоту при 25°С, см <sup>3</sup> ·см/(см <sup>2</sup> ·Х·Ч·с·атм) . . . . .	$7,5 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,4 \cdot 10^{-9}$	$10,1 \cdot 10^{-9}$	$9,1 \cdot 10^{-9}$	$7,3 \cdot 10^{-9}$	$0,4 \cdot 10^{-9}$	$200 \cdot 10^{-9}$	$231 \cdot 10^{-9}$	$190 \cdot 10^{-9}$
Продукты газовойдесорции несажаемого образца (Т—твердые, Ж—жидкие, Г—газообразные) . . . . .	Т, Ж, Г	Т, Ж, Г	Т, Г	Т, Ж, Г	Т, Г	Т, Ж, Г	Ж, Г	Ж, Г	Ж, Г	Ж, Г

## Основные характеристики промышленных вакуумметров

Характеристики	Тип вакуумметра							
	ВДГ-1	ВТ-3	ВСБ-1	ВТБ-1	ВЭМБ-1	ВМБ-3	ВМБ-8	ВИТ-2
Наименование . . . . .	Деформационный газоразрядный	Терморезистивный	Сопло-ионный	Теплоэлектрический	Электроразрядный	Магнитный	Магнитный	Ионизационно-термометрический
Тип манометрического преобразователя . . . . .	—	ПМТ-2, ПМТ-4М, МТ-8	ПМТ-6	ПМТ-6-3	ММ-28	ММ-13М 4А	ПММ-32-1	ПМТ-2, МТ-8, ПМТ-4М, ПМИ-2, ЛМ-3 2
Рабочий диапазон, Па:								
измерения . . . . .	$10^{-1} \dots 10^4$	$10^{-1} \dots 10^1$	$10^0 \dots 4 \cdot 10^3$	$10^{-1} \dots 10^6$	$10^{-3} \dots 10^2$	$2,6 \cdot 10^{-5} \dots 10^0$	$10^{-7} \dots 10^0$	$1 \cdot 10^{-5} \dots 10^1$
блокировки . . . . .	—	—	$10^1 \dots 4 \cdot 10^3$	$10^0 \dots 4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^{-2} \dots 1,3 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^{-4} \dots 10^0$	$10^{-6} \dots 10^0$	—
Погрешность измерения, % . . . . .	—	$\pm 40$	—	$-40 \div +50$	—	—	$-40 \div +60$	$\pm 40$ (термоп.) $\pm 2^5$ (иониз.)
Аналоговый сигнал:								
напряжение, В, или ток, А	—	—	0,01	10	—	0,01	10	0,01
нагрузка, Ом . . . . .	—	—	100	2000	—	100	2000	100

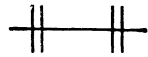
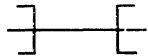

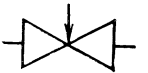
Характеристики	Тип вакуумметра							
	ВИТ-3	ВИ-12	ВИ-14	ВИМ-2	ВИМ-2А	РВТ-1М	РВМ-1М	
Наименование . . . . .	Ионизационно-термометрический	Ионизационный	Ионизационный	Ионизационный	Ионизационный	Реле вакуумное	Реле вакуумное	
Тип манометрического преобразователя . . . . .	ПМТ-2, МТ-8, ПМТ-4М, ПМИ-2, ЛМ-3-2, МИ-10 2	ИМ-12, ПМИ-12-8	ПМИ-27, ИМ 12	ММ-14М	ММ-14М	ПМТ-6	ПММ-22	
Рабочий диапазон, Па:								
измерения . . . . .	$1 \cdot 10^{-5} \dots 10^1$	$10^{-6} \dots 10^{-3}$	$10^{-6} \dots 10^1$	$10^{-11} \dots 10^{-2}$	$10^{-11} \dots 10^{-2}$	—	—	
блокировки . . . . .	—	—	—	—	—	$10^0 \dots 4 \cdot 10^3$	$10^{-4} \dots 10^0$	
Погрешность измерения, % . . . . .	$\pm 40$ (термоп.) $\pm 2^5$ (иониз.)	—	—	—	—	$-40 \div +60$	$-40 \div +60$	
Аналоговый сигнал:								
напряжение, В или ток, А	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	20*	$3 \cdot 10^{-4}$	
нагрузка, Ом . . . . .	100	100	100	100	100	10 000	1000	

\* Перечислено 2 кГц



ПРИЛОЖЕНИЕ 11

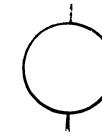
Условные графические обозначения элементов вакуумных систем

Патрубок:	со штуцерным соединением	
	с фланцевым соединением	
Местный резистор (дроссель):	общее обозначение	
	капилляр	
	диафрагма	
		
Клапан (кран) вакуумный:	проходной, общее обозначение	
	затвор	
	натекатель	

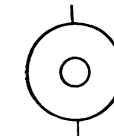
Продолжение прилож. 11

Насос механический вакуумный:

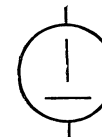
общее обозначение



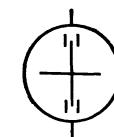
объемный, поршневой, пластинчато-роторный и т. п.



двухроторный



молекулярный

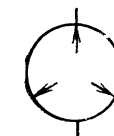


Насос струйный вакуумный (эжекторный, бустерный, диффузионный)



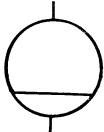
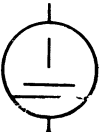
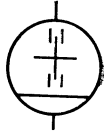
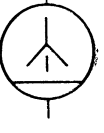


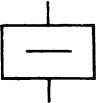
Насос сорбционный вакуумный:



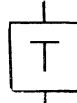


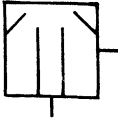
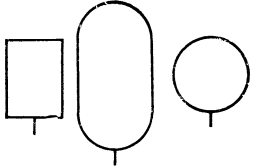
адсорбционный, конденсационный



ионно-геттерный и магнитный электроразрядный



Вакуумный агрегат:	
общее обозначение	
на основе двухроторного насоса	
на основе молекулярного насоса	
на основе струйного насоса	
на основе сорбционного насоса	
на основе ионно-геттерного или магнетронного насоса	
Ловушка	

Манометрический преобразователь:	
общее назначение	
бескорпусный (открытого типа)	
Течеискатель	
Масс-спектрометр	
Калиброванная течь	
Система защиты форвакуумной системы	
Откачиваемый сосуд	

Камера вакуумная разъемная	
Шлюз вакуумный	
Баллон предохранительный	
Баллон уравнивательный (ресивер)	
Элементы подогрева: сопротивления	
индукционный	
лучевой, инфракрасным излучением	
водяной	

Элементы охлаждения: воздушный принудительный	
водяной	
криогенный	
Ввод электрический вакуумный	
Ввод механический вакуумный: движение вращательное	
движение возвратно-поступательное	

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Размеры прямоугольных резиновых уплотнителей  
и канавок под них во фланцевых соединениях

Диаметр условного прохода $D_y$	Размеры канавки под уплотнитель, мм				Размеры уплотнителя мм		
	Наруж- ный диа- метр $D_H$	Внутрен- ний диа- метр $D_B$	Глубина $H$	Фаска $f$	Наруж- ный диа- метр $D_H$	Ширина $a$	Высота $z$
10	19	13	2	0,2	19	3	3
15	24	18	2	0,2	24	3	3
20	30	23	2,2	0,3	30	3,5	4
25	35	28	2,2	0,3	35	3,5	4
32	42	35	2,2	0,3	42	3,5	4
40	50	43	2,2	0,3	50	3,5	4
50	64	54	3,8	0,5	64	5	5
60	79	69	3,8	0,5	79	5	5
80	99	89	3,8	0,5	99	5	5
100	119	109	3,8	0,5	119	5	5
125	144	134	3,8	0,5	144	5	5
160	179	169	3,8	0,5	179	5	5
200	218	208	3,8	0,5	218	5	5
250	268	258	4,8	1,5	268	5	8
300	338	328	4,8	1,5	338	5	8
360	378	368	4,8	1,5	378	5	8
380	398	388	4,8	1,5	398	5	8
400	417	407	4,8	1,5	417	5	8
500	522	512	4,8	1,5	522	5	8

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Пропускная способность вакуумной запорной арматуры

Тип клапана	Диаметр условного прохода мм	Среднее значение пропускной способ- ности в молекулярном режиме течения для воздуха при 20°C л/с	
		расчетное	экспериментально измеренное
Клапаны РП, ЭР-1У, ЭП-2	10	1	1,01±0,05
	15	2,3	2,24±0,11
	25	5,5	5,15±0,26
	32	10	9,65±0,47
	50	32	30,26±1,51
	80	80	80,6±4,00
	100 160	120 360	— —
Клапаны УРС	6	0,25	—
	8	0,45	—
	10	0,75	—
	15	2,0	—
	20	3,5	—
Шибберные затворы	900	34 000	—
	1200	61 500	—
Затворы РСУ, РСУ-1, угловые затворы УР	85	220	—
	160	800	—
	260	1900	—
	380	4500	—
	500	8000	—
Затворы К, КЭ	85	300	—
	160	1100	—
	260	2600	—
	380	6200	—
Клапаны МБА	100	240	—
	160	700	—
	260	1800	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 14

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА ГАЗА

Таблица

Меры вместимости бюреток

Измеряемый поток газа, Вт	Наименование мер вместимости по ГОСТ 1770-64	Вместимость, мл	Объем одного деления, мл
$1,3 \cdot 10^{-5}$ — $6,6 \cdot 10^{-3}$	Пипетка типа II	1	0,01
$6,6 \cdot 10^{-5}$ — $2,6 \cdot 10^{-2}$	Пипетка типа II	2	0,02
$2,6 \cdot 10^{-4}$ — $2 \cdot 10^{-1}$	Бюретка типа I	10	0,05
$6,6 \cdot 10^{-4}$ — $4,0 \cdot 10^{-1}$	Бюретка типа I	25	0,1
$6,6 \cdot 10^{-4}$ — $8 \cdot 10^{-1}$	Бюретка типа I	50	0,1
$1,3 \cdot 10^{-3}$ — $2,0$	Бюретка типа I	100	0,2

Таблица 2

Ротаметры

Измеряемый поток газа, Вт	Тип ротаметра	Материал поплавка	Масса поплавка, г
0,17—1,7	РС-3А	Эбонит	0,2
1,11—9,7	РС-3	Эбонит	0,2
5,6—27,8	РС-3	Сталь 1Х18Н9Т	1,05
17,56—111	РС-5	Эбонит	2,73
27,79—175,6	РС-5	Дюралюминий	6,25
175,6—691,6	РС-7	Эбонит	50,6
277,9—1110	РС-7	Сталь 1Х18Н9Т	138

Список литературы

1. Менх Г. Техника высокого вакуума. М.—Л., «Энергия», 1965. 560 с. с ил.
2. Цейтлин А. Б. Пароструйные вакуумные насосы. М.—Л., «Энергия», 1965. 399 с. с ил.
3. Пауэр Б. Д. Высоковакуумные откачные устройства. М., «Энергия», 1969. 527 с. с ил.
4. Ланис В. А., Левина Л. Е. Техника вакуумных испытаний. М.—Л., Госэнергониздат, 1963. 263 с. с ил.
5. Основы вакуумной техники. М., «Энергия», 1975. 415 с. с ил. Авт.: Королев Б. И., Кузнецов В. И., Пипко А. И. и др.
6. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М., «Мир», 1964. 715 с. с ил.
7. Пипко А. И., Плисковский В. Я., Пенчко Е. А. Конструирование и расчет вакуумных систем. М., «Энергия», 1970. 392 с.
8. Вакуумные системы и их элементы. Справочник-атлас. Под ред. В. Д. Лубенца. М., «Машиностроение», 1968. 190 с. с ил.
9. Sedler P. Comparative performance characteristics between a vane and a rotary piston type mechanical vacuum pump. — «Vacuum», 1969, vol. 19, № 1.
10. Балицкий А. В. Технология изготовления вакуумной аппаратуры. М.—Л., «Энергия», 1966. 312 с. с ил.
11. Черепнин Н. В. Сорбционные явления в вакуумной технике. М., «Советское радио», 1973. 382 с. с ил.
12. Сорбционные процессы в вакууме. Пер. с англ. Под ред. К. Н. Мызникова. М., Атомиздат, 1966. 313 с. с ил.
13. Волчекевич А. И. Высоковакуумные адсорбционные насосы. М., «Машиностроение», 1973. 158 с. с ил.
14. Глебов Г. Д. Поглощение газов активными металлами. М.—Л., Госэнергониздат, 1961. 184 с. с ил.
15. Ворончев Т. А., Соболев В. Л. Физические основы электровакуумной техники. М., «Высшая школа», 1967. 352 с. с ил.
16. Васильев Г. А. Магниторазрядные насосы. М., «Энергия», 1970. 113 с. с ил.
17. Лекк Дж. Измерение давления в вакуумных системах. М., «Мир», 1966. 207 с. с ил.
18. Востров Г. А., Розанов Л. Н. Вакуумметры. Л., «Машиностроение», 1967. 235 с. с ил.
19. Ковалевский Р. Е., Чекмарев А. А. Конструирование и технология вакуумно-плотных паяных соединений. М., «Энергия», 1968. 208 с. с ил.
20. Розбери Ф. Справочник по вакуумной технике и технологии. М., «Энергия», 1972. 455 с. с ил.
21. Шкаринов Л. Н. Влияние шума на организм. М., Медгиз, 1963. 64 с.
22. Лазарев Н. В. Химические вредные вещества в промышленности. М., Госхимиздат, 1951.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .		3
Глава первая. <b>Общие сведения</b> . . . . .		5
1-1. Простейшая вакуумная система и ее элементы . . . . .		5
1-2. Способы получения вакуума. Основные характеристики вакуумных насосов . . . . .		7
Глава вторая. <b>Механические насосы</b> . . . . .		10
2-1. Вращательные насосы с масляным уплотнением . . . . .		10
2-2. Двухроторные насосы . . . . .		26
2-3. Турбомолекулярные насосы . . . . .		31
Глава третья. <b>Пароструйные насосы</b> . . . . .		38
3-1. Принцип действия и основные характеристики . . . . .		38
3-2. Эксплуатация и обслуживание . . . . .		43
Глава четвертая. <b>Сорбционные насосы</b> . . . . .		51
4-1. Общие сведения о сорбции газов . . . . .		51
4-2. Цеолитовые насосы . . . . .		54
4-3. Геттерные насосы . . . . .		59
4-4. Геттерно-ионные насосы . . . . .		64
4-5. Магниторазрядные насосы . . . . .		69
Глава пятая. <b>Элементы вакуумных систем</b> . . . . .		85
5-1. Соединения . . . . .		86
5-2. Запорная арматура . . . . .		93
5-3. Ловушки . . . . .		100
Глава шестая. <b>Приборы для измерения давления газа</b> . . . . .		105
6-1. Общие сведения об измерении давления . . . . .		105
6-2. Абсолютные вакуумметры . . . . .		106
6-3. Тепловые вакуумметры . . . . .		108
6-4. Электронные ионизационные вакуумметры . . . . .		111
6-5. Магнитные электроразрядные вакуумметры . . . . .		115
Глава седьмая. <b>Течеискание</b> . . . . .		119
7-1. Общие сведения . . . . .		119
7-2. Манометрический метод . . . . .		120
7-3. Контроль герметичности с помощью галогенного течеискателя . . . . .		121
7-4. Контроль герметичности с помощью масс-спектрометрического течеискателя . . . . .		123
Глава восьмая. <b>Вакуумные установки</b> . . . . .		130
8-1. Типовые схемы и последовательность запуска . . . . .		130
		145
		148
		153
<b>Глава девятая. Измерение основных характеристик вакуумного оборудования</b> . . . . .		156
9-1. Общие сведения . . . . .		156
9-2. Механические насосы . . . . .		165
9-3. Пароструйные диффузионные насосы . . . . .		168
9-4. Магнитные электроразрядные и геттерно-ионные насосы . . . . .		170
<b>Глава десятая. Техника безопасности. Производственная санитария</b> . . . . .		172
10-1. Организация работ по охране труда и технике безопасности на предприятиях . . . . .		172
10-2. Электробезопасность и техника безопасности при работе с радиоэлектронным оборудованием . . . . .		173
10-3. Основы производственной санитарии . . . . .		179
Приложения . . . . .		182
Список литературы . . . . .		205

*ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ КУЗНЕЦОВ*  
*НИКАНДР ФЕДОРОВИЧ НЕМИЛОВ*  
*ВАЛЕРИАН ЕФИМОВИЧ ШЕМЯКИН*

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Редактор *Е. М. Рудницкий*  
Редактор издательства *А. А. Цитленко*  
Обложка художника *В. И. Карпова*  
Технический редактор *Л. В. Иванова*  
Корректор *А. Д. Халанская*

**ИБ № 1518**

Сдано в набор 20.02.78	Подписано к печати 15.05.78	Т-10341	
Формат 84×108 <sup>1/32</sup>	Бумага типографская № 1	Гарн. шрифта	
литературная	Печать высокая	Усл. печ. л. 10,92	Уч.-изд. л. 12,15
Тираж 10 000 экз.	Зак. 574	Цена 65 к.	

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10