

Ф. Г. Закиров, Е. А. Николаев

ОТКАЧНИК- ВАКУУМЩИК

*ИЗДАНИЕ 2-Е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ*

ОДОБРЕНО УЧЕНЫМ СОВЕТОМ
ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНО ТЕХНИЧЕСКОМУ
ОБРАЗОВАНИЮ
В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНИКА
ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УЧИЛИЩ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1977

Со всеми замечаниями и предложениями просим обращаться по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

3 $\frac{30407-358}{052(01)-77}$ 55-77

© Издательство «Высшая школа», 1973 г.
© Издательство «Высшая школа», 1977 г., с изменениями.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие советской науки и техники, достижения во многих областях народного хозяйства и научно-технический прогресс в социалистической промышленности неразрывно связаны с ростом электронной промышленности, особенно в области разработки и изготовления различных электровакуумных приборов (ЭВП). Электровакуумные приборы применяются практически во всех сферах социалистического хозяйства: на транспорте, в металлургии, химической промышленности, медицине, космических исследованиях, геологии, сельском хозяйстве и т. д.

Успешное выполнение девятого пятилетнего плана обусловило качественные изменения в отечественной электронной промышленности: разработаны и внедрены в производство новые контрольно-измерительные приборы, новые виды вакуумно-термического оборудования, новые средства откачки; широкими темпами идет внедрение АСУТП во все сферы производства ЭВП. В связи с этим во втором издании книги значительно переработан материал по контрольно-измерительным приборам и откачному оборудованию для систем АСУТП.

В решениях XXV съезда КПСС большое внимание уделено развитию электронной промышленности в десятой пятилетке — пятилетке качества, которое немыслимо без высококвалифицированных кадров откачников-вакуумщиков, способных управлять сложным вакуумно-термическим оборудованием.

Откачник-вакуумщик выполняет одну из основных операций при изготовлении приборов — откачку и высокотемпературное обезгаживание отдельных узлов ЭВП в соответствии с принятой технологией. Он завершает труд большого коллектива, занятого изготов-

6Ф03

лением деталей и сборкой приборов. От квалификации откачника-вакуумщика во многом зависит эффективность производства ЭВП и качество изготовленных приборов.

Важная роль в подготовке высококвалифицированных кадров откачников-вакуумщиков принадлежит системе профессионально-технического обучения. Качество учебно-воспитательного процесса в технических училищах во многом зависит от наличия учебных пособий по профилирующим специальностям.

Данное учебное пособие знакомит будущих работников предприятий электронной промышленности с теоретическими основами получения и измерения вакуума, технологией откачки ЭВП и дает практические советы по обслуживанию вакуумно-термического оборудования.

Предисловие и глава IX написаны авторами совместно. Главы II—IV и VI—VIII написаны Ф. Г. Закировым, а главы I, V, X и XI — Е. А. Николаевым.

Глава I. УСЛОВИЯ ТРУДА И ТРЕБОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ВАКУУМНОЙ ГИГИЕНЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

§ 1. УСЛОВИЯ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Условия труда определяются совокупностью факторов производственной среды, в которой человек осуществляет свою трудовую деятельность. К таким факторам относятся: санитарно-гигиенические (освещенность, уровень шума, состав воздуха, его влажность и температура), эстетические (архитектурное и художественное оформление помещений, их благоустройство) и режимные (распорядок рабочего дня, чередование труда и отдыха и др.).

Научный подход к организации условий труда в том, чтобы все указанные выше факторы производственной среды в наилучшей степени соответствовали психофизиологическим и социальным потребностям человека, содержанию и характеру его работы.

Повышенный уровень шума, недостаточная освещенность, неудовлетворительное состояние микроклимата в рабочих помещениях, неблагоустройство, несоответствие помещения эстетическим нормам могут явиться серьезной помехой в творческом труде специалиста, значительно снизить его работоспособность и производительность, отразиться на качестве и сроках выполнения работ. В результате длительного нервного перенапряжения и физического переутомления могут возникнуть бессонница, постоянные головные боли и другие заболевания.

Особое значение для повышения производительности труда и сохранения здоровья имеет *освещение* рабочего места. Хорошее естественное освещение создает ощущение непосредственной связи с окружающим про-

Таблица 2

Допустимый уровень шума

Класс шума	Характеристика шума	Допустимый уровень шума, дБ
Первый	Низкочастотные шумы (шум тихоходных агрегатов неударного действия, шумы, проникающие сквозь звукоизолирующие преграды — стены, перекрытия, кожухи) — наибольшие уровни в спектре расположены ниже частоты 300 Гц, выше которой уровни понижаются (не менее чем на 5 дБ на октаву)	90—100
Второй	Среднечастотные шумы (шумы большинства машин, станков и агрегатов и агрегатов неударного действия) — наибольшие уровни в спектре расположены ниже частоты 800 Гц, выше которой уровни понижаются (не менее чем на 5 дБ на октаву)	85—90
Третий	Высокочастотные шумы (звонящие, шипящие и свистящие, характерные для агрегатов ударного действия потоков воздуха и газа, агрегатов, действующих с большими скоростями) — наибольшие уровни в спектре расположены выше частоты 800 Гц	75—85

странством. Солнечные лучи обладают полезным биологическим и бактерицидным действием. Недостаток освещения или неправильное расположение светильников увеличивают утомляемость, случаи брака и травматизма.

Источником искусственного света могут быть лампы накаливания и люминесцентные светильники. Нормы освещенности, измеряемой фотоэлектрическим люксометром, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемые нормы освещенности

Помещения	Нормальная освещенность на рабочей поверхности на уровне 0,8 м от пола, лк	
	при люминесцентном освещении	при лампах накаливания
Кабинеты, рабочие комнаты	300	150
Проектные, конструкторские и чертежные бюро	500	300
Залы ожидания	200	100
Комнаты ожидания	150	75
Архивы	300	200

Шум — одна из наиболее грозных помех для творческой деятельности человека. Вибрации и шум приводят к повышенной утомляемости и значительному снижению производительности труда (в ряде случаев производительность труда снижается до 60%).

Измерение силы и частоты звука (шума) производится шумометром и звукоанализатором.

С ростом частоты колебаний звука допустимый уровень шума снижается.

Градации вредности производственного шума, для каждого из которого установлен свой допустимый уровень, приведена в табл. 2.

В помещениях, где невозможно снизить уровень шума до нормы, работающие должны надевать противошумные наушники или применять другие средства, снижающие воздействия шума на организм человека.

Оптимальная температура в рабочих помещениях 20—22°С при относительной влажности 60—80%. В по-

мещениях сборки изделий электронной техники относительная влажность воздуха должна быть в пределах 50—65%. Правильный расчет вентиляции, отопления и автоматизация их работы позволяют поддерживать микроклимат на уровне указанных требований. На многих предприятиях электронной промышленности микроклимат обеспечивается системой кондиционирования воздуха. В последние годы большое внимание в вопросах создания благоприятных условий труда уделяется эстетике, т. е. использованию элементов искусства, архитектурно-планировочных и декоративных решений. Особая роль при этом отводится свету и цвету. Умелым сочетанием этих двух факторов можно достигнуть исключительно эффективного в благоприятном смысле воздействия окружающей среды на психику человека, на его эмоциональный и творческий настрой. Цвет может быть легким и тяжелым, теплым и холодным, возбуждающим и успокаивающим и т. д. Кроме всего прочего, растения и цветы также способствуют снижению шума.

Режим труда и распорядок рабочего дня — важные факторы НОТ (научная организация труда). Работоспособность человека на протяжении дня изменяется: возрастает в начале и падает в конце.

Рабочий день можно разделить на три периода:

1) период выработаемости — в начале рабочего дня человек восстанавливает трудовые навыки, частично ослабленные во время отдыха. Производительность и работоспособность в течение этого периода возрастают;

2) период наибольшей устойчивости, работоспособности и производительности труда;

3) период понижающейся работоспособности и производительности труда — конец рабочего дня, когда человек по мере роста утомления уже не способен его преодолеть.

Режим работы коллектива устанавливает рациональное чередование труда и отдыха; в распорядке рабочего дня целесообразно предусматривать два небольших перерыва (на 10—15 мин) для производственной гимнастики: в первой и во второй половине дня.

Важную роль в правильной организации труда на научной основе стала играть новая наука — эргономика (см. гл. XI).

§ 2. ЭЛЕКТРОННО-ВАКУУМНАЯ ГИГИЕНА

Контроль за соблюдением установленных норм производственной среды на предприятиях, изготавливающих изделия электронной техники, возложен на службу электронно-вакуумной гигиены.

Надежность сложнейших электровакуумных приборов в значительной мере определяется чистотой помещений и технологической среды, в которых происходит обработка деталей и сборка узлов изделий.

В требования электронно-вакуумной гигиены входят:

- классификация помещений в зависимости от характера производства;
- параметры производственной среды в помещениях;
- условия работы в помещениях;
- условия хранения деталей и узлов изделий;
- условия эксплуатации оборудования.

Классификация производственных помещений

Цикл изготовления ЭВП достаточно сложный и длительный. К основным операциям изготовления относятся: заготовительные операции, изготовление деталей, контроль деталей и узлов, очистка деталей и узлов, сборка приборов, контроль собранных приборов, откачка приборов, испытания и тренировка приборов.

В зависимости от требований к чистоте поверхности деталей и узлов производство электронных приборов подразделяется на три категории и осуществляется соответственно в помещениях I, II и III категорий.

К I категории относятся помещения, в которых выполняют наиболее ответственные технологические операции, не допускающие попадания на поверхность деталей пыли, органических продуктов, окислов, пота и других веществ. В помещениях I категории производят окончательную очистку и отжиг деталей, металлизацию керамических деталей, сборку приборов, контроль и измерение собранных деталей, навивку сеток, нанесение суспензий на катодные детали, нанесение проводящего слоя.

Ко II категории относятся помещения, в которых производят операции, завершающие подготовку деталей и узлов к окончательной сборке, такие, как предварительная очистка деталей и сборка узлов, изготовление и пайка стеклянных деталей, термические операции, тренировка, испытания и контроль параметров приборов.

Откачка приборов производится в помещениях II категории, но иногда в целях лучшей организации производственного цикла ее осуществляют в помещениях I категории.

К III категории относятся помещения, в которых выполняются работы по изготовлению деталей из металла, стекла, керамики. В помещениях III категории изготавливают детали на металлорежущем оборудовании, стеклянные и керамические детали, производят термическую обработку деталей, подготовку керамических масс, шлифовку, окраску приборов.

Категории помещений определяются главным инженером и главным технологом предприятия. Для каждой категории установлены соответствующие требования по чистоте и параметрам микроклимата, допустимой кон-

центрации вредных примесей, требования к оборудованию и обслуживающему персоналу.

Соблюдение установленных параметров и требований электронно-вакуумной гигиены обеспечивает надежность и долговечность приборов, их соответствие заданным режимам работы, возможность длительного хранения.

Чистота среды в помещении определяется количеством пылинок в 1 л воздуха или количеством пылинок, оседающих на 1 см² стеклянной поверхности за час. В помещениях I категории количество пылинок в 1 л допускается до 10, а некоторые операции сборки приборов требуют создания специальных боксов, в которых вообще не допустимы пылинки. Ряд современных приборов при наличии в объеме нескольких пылинок нарушают режим работы или выходят из строя.

Детали приборов имеют весьма малые допуски по размерам, измерение которых должно производиться при строго определенной температуре.

Влажность воздуха оказывает действие на различные свойства материалов, например на электрические параметры, кроме того, при повышенной влажности увеличивается потливость рук у сборщиков.

Для обеспечения заданных параметров микроклимата помещения I и II категорий изолируют друг от друга, в помещениях I категории создается повышенное давление (на 25÷50 Па), что исключает подсос воздуха из соседних помещений. Система вентиляции и кондиционирования должна обеспечивать:

равномерность температуры по высоте и в различных зонах помещения;

отсутствие сквозняков и направленных потоков воздуха;

кратность обмена воздуха, достаточную для удаления избытков тепла;

подачу воздуха с чистотой ниже норм, установленных для помещения данной категории.

Требования к работающим в производственных помещениях I и II категорий

Для соблюдения требований электронно-вакуумной гигиены необходимо, чтобы работающий персонал четко их знал и неукоснительно выполнял.

Вход и выход из помещений I и II категорий производится через специальные комнаты, в которых расположены: гардероб или шкафы для хранения личной одежды и обуви, комнаты для мытья рук с теплой и холодной водой. Каждый раз при входе в помещения необходимо менять личную обувь и верхнюю одежду на технологическую, выдаваемую каждому работающему. Работающим в этих помещениях выдается два комплекта технологической одежды: халаты белые или светлых тонов из хлопчатобумажной ткани или лавсана со штателем; тапочки хромовые на кожаной подошве; шапочки или косынки хлопчатобумажные, перчатки или напальчники. Комплектность и форма одежды определяются категорией помещения и условиями работы.

Работающие обязаны: соблюдать личную гигиену, следить за чистотой одежды, обуви, рук (ногти должны быть без лака), поддерживать рабочее место, инструмент и приборы в надлежащей чистоте; по окончании работы привести в порядок рабочее место, очистить и уложить на специально отведенные места приспособления, аппаратуру и инструмент.

Многие операции выполняются в специальных перчатках или надеваются напальчники, которые очищают кипячением в содовом растворе с последующей промывкой в деионизованной (очищенной) воде.

Для работающих в помещениях I категории определена схема мытья рук: 1) вымыть руки с детским мылом водой 45°С, 2) ополоснуть руки водой 18—20°С, 3) ополоснуть руки дистиллированной водой, 4) вытереть руки насухо полотенцем из неворсистой ткани.

В помещениях I и II категорий запрещается: курить, хранить и принимать пищу, хранить личные вещи, выполнять без специального разрешения работы, не предусмотренные технологической инструкцией.

Условия хранения деталей и полуфабрикатов

Подготовленные к сборке узлы и детали приборов хранятся в специальном оборудовании в помещениях I категории.

Крупные узлы и детали должны находиться в шкафах с защитной от окисления атмосферой, в специальных контейнерах, мелкие детали — в специальной та-

ре — ампулах, лотках, эксикаторах (герметично закрывающихся стеклянных сосудах). Тара изготавливается из негигроскопичного, некорродирующего гладкого материала.

Детали из помещения в помещение следует переносить в закрытых сосудах. При разработке технологического процесса изготовления приборов стремятся к минимальному сроку хранения деталей, подготовленных к сборке.

Условия эксплуатации оборудования в помещениях I и II категорий

К эксплуатации в помещениях I и II категорий допускается оборудование и аппаратура, удовлетворяющие требованиям электронно-вакуумной гигиены.

Конструктивно оборудование должно обеспечивать возможность тщательной очистки его от загрязнений, не иметь глубоких щелей, острых углов, шероховатых поверхностей.

Мебель должна изготавливаться из неворсистого материала, иметь гладкие формы с плавными переходами, допускать протирку очищающими составами.

Инструменты и приспособления подлежат периодической очистке путем обезжиривания, промывки, протирки спиртом и другими растворителями.

Откачное и вакуумное термическое оборудование требует форвакуумной откачки масляными насосами, выделяющими в помещение пары масла, что недопустимо в помещениях I и II категорий. В последнее время монтируются системы централизованного форвакуума, в которых форвакуумные насосы располагают в отдельных помещениях и соединяют их с оборудованием трубопроводами; такие системы позволяют, кроме того, снижать уровень шумов в рабочих помещениях. Если же нет централизованной форвакуумной системы, необходимо смонтировать систему отвода выхлопных газов из рабочего помещения.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы определяют условия трудовой деятельности?
2. Какие операции изготовления приборов выполняют в помещениях I, II и III категорий?
3. Как меняется работоспособность в течение рабочего дня?

4. Какие требования предъявляются к системе вентиляции и кондиционирования?
5. Для чего предназначена технологическая одежда?

Глава II. ГАЗОВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Газ как источник тепловой энергии широко используется в электровакуумном производстве при варке и термообработке стекла, причем доля газа составляет более 90% по отношению к другим источникам тепловой энергии. Такое предпочтение газообразному топливу отдается не только благодаря его экономичности, но и в связи с тем, что для обеспечения качественного протекания ряда технологических процессов термообработки стекла необходима специальная газовая среда продуктов сгорания газа. Для сжигания газа и поддержания заданных режимов термообработки стекла применяется комплекс газовой аппаратуры и оборудования, называемый иначе системой огневого оснащения технологического оборудования электровакуумного производства.

§ 3. ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРОВАКУУМНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Горючие газы, используемые на предприятиях электровакуумного производства, можно подразделить на природные и искусственные, а природные, в свою очередь, на газы чисто газовых месторождений и газы нефтяных месторождений (полутные газы). Особую группу искусственных горючих газов составляют сжиженные газы.

Природные газы

Природные газы чисто газовых месторождений — это наиболее распространенный вид газообразного топлива. Они состоят в основном из метана с незначительным содержанием других примесей. В качестве примера рассмотрим элементарный состав (в объемных %) газа Саратовского месторождения: метан CH_4 — 93,7, этан C_2H_6 — 2,2, пропан C_3H_8 — 0,9, бутан C_4H_{10} — 0,4,

пентан C_5H_{12} — 0,5, двуокись углерода CO_2 — 0,2, азот N_2 — 2,1.

Попутные газы нефтяных месторождений отличаются более высоким содержанием тяжелых предельных углеводородов. Это подтверждается элементарным составом попутного газа месторождения Грозисфьт: метан — 49, этан — 11, пропан — 17, бутан — 1,5, пентан — 4,0, двуокись углерода — 1,0, азот — 3,0.

Искусственные газы

На предприятиях электровакуумного производства находят применение такие искусственные горючие газы, как водяной газ, водород, кислород, сжиженные газы.

Водяной газ все более вытесняется природными газами и применяется в настоящее время лишь на предприятиях, расположенных вдали от магистральных газопроводов или месторождений природных газов. Искусственный газ, состоящий из смеси водорода и кислорода, используется почти на всех предприятиях электровакуумного производства для получения наиболее высокотемпературного пламени газовых горелок.

Водяной газ — это ядовитый, не имеющий запаха, газ. Его получают путем пропускания водяного пара над раскаленным углем. Состав газа зависит от сорта угля, его температуры и условий газификации. Обычно водяной газ состоит из 50% окиси углерода CO и 50% водорода H_2 . Смесь водяного газа с воздухом взрывоопасна при содержании газа от 12,5 до 66,5%.

Водород — газ без цвета и запаха. Его получают либо путем электролиза воды (содержание примесей в газе 0,2%), либо путем термического разложения (конверсии) метана (содержание примесей в газе 3—4%). Водород, полученный путем конверсии природного газа, в 5 раз дешевле электролитического.

Смесь H_2 с воздухом взрывоопасна при содержании водорода в смеси от 4,1 до 74%.

Кислород — это бесцветный, не имеющий запаха, газ. Различают два сорта технического кислорода: сорт А с содержанием примесей не более 0,8% и сорт Б с содержанием примесей не более 1,5%. Технический кислород O_2 получают на кислородных заводах путем глубокого охлаждения, сжижения и ректификации воз-

духа. Поскольку объем 1 кг жидкого кислорода в 790 раз меньше объема 1 кг газообразного O_2 , то кислород хранят и перевозят в жидком виде в специальных теплоизолированных резервуарах. На рабочие места кислород подается в газообразном состоянии в баллонах емкостью 40 л под давлением $1,5 \cdot 10^7$ Па.

Контакт жиров и масел со сжатым кислородом огнеопасен, а в условиях баллона под давлением $1,5 \cdot 10^7$ Па и взрывоопасен.

Сжиженные газы

Основными компонентами сжиженных газов, получаемых из попутных природных газов или продуктов переработки нефти, являются пропан и бутан с незначительным содержанием таких примесей, как этан, этилен, пропилен и бутилен. В обычных условиях перечисленные выше компоненты находятся в газообразном состоянии, но при незначительном повышении давления они переходят в жидкое состояние.

Наиболее универсальным сжиженным газом является технический пропан. Применяются также сжиженные газы на основе технического бутана и смеси технического пропана и бутана.

Транспортируются эти газы в жидком виде в специальных цистернах с хорошей теплоизоляцией. На месте назначения они сливаются в стационарные резервуары и перекачиваются оттуда насосами в испаритель с естественным или искусственным испарением. Из испарителя газ поступает в газовую магистраль предприятия.

§ 4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Горючие газы, используемые в электровакуумном производстве, должны иметь постоянный состав, резкий и характерный запах, минимальное содержание вредных примесей и балластных газов.

Большинство природных и искусственных газов практически не имеет запаха. С целью своевременного выявления утечек такие газы необходимо одорировать, т. е. искусственно придать им определенный запах с помощью пахучих веществ — одорантов (например,

этилмеркаптана). На 1000 м³ природного газа расходуется 16—19 г одоранта. Вредными примесями в горючих газах считаются ядовитые вещества, вызывающие коррозию газопроводов и арматуры, приводящие к уменьшению или закупорке сечения газопровода.

Ядовитые примеси (аммиак, сероводород, сероуглерод и другие сернистые соединения) могут входить в состав горючего газа или образовываться при его сгорании.

К примесям, вызывающим коррозию газопроводов и арматуры, относятся кислород и водяные пары, а уменьшающим сечение газопроводов — смола, окалина, пыль, пары воды.

Балластными примесями в горючих газах являются азот и углекислый газ. При наличии большого количества балластных примесей в горючем газе ухудшаются его характеристики: уменьшается скорость распространения пламени.

Любое газообразное топливо характеризуется следующими свойствами: давлением, температурой, критической температурой и критическим давлением, плотностью, молекулярным весом, тепл емкостью, теплотой сгорания, температурой горения, температурой воспламенения и пределом воспламеняемости, скоростью распространения пламени. Рассмотрим более подробно некоторые из перечисленных характеристик.

Температура

За начало отсчета абсолютной температуры T принимается такая температура газа, при которой его молекулы находятся в абсолютном покое (абсолютный нуль температуры равен $-273,16^{\circ}\text{C}$). При отсчете температуры от абсолютного нуля пользуются абсолютной шкалой Кельвина ($T\text{ K}$).

Отсчет температуры в технике часто ведут от температуры таящего льда при нормальном атмосферном давлении (0°C). В этом случае для измерения температуры пользуются шкалой Цельсия ($t^{\circ}\text{C}$). Соотношение между температурами по шкале Цельсия и абсолютной шкале Кельвина выражается зависимостью:

$$T\text{ K} = t^{\circ}\text{C} + 273,16^{\circ}. \quad (1)$$

Критическая температура и давление

Любое газообразное топливо может быть сжижено путем повышения давления, если его температура не выше критической. *Критической температурой* однородного газа называется такая температура, выше которой газ не может быть сжижен при сколь угодно высоком давлении. *Давление*, необходимое для сжижения данного газа при его критической температуре, называется критическим.

Плотность и молекулярный вес

Плотностью называется масса единицы объема газообразного топлива; измеряется обычно в кг/м^3 .

Молекулярным весом называется вес молекулы газа, выраженный в углеродных единицах. Углеродная единица — это одна двенадцатая часть массы атома изотопа углерода ^{12}C , равная $19,63 \cdot 10^{-24}$ г.

Температура горения

Температура, которую приобретают продукты сгорания при сжигании газообразного топлива, называется *температурой горения*. Если процесс сжигания газа осуществляется при полном отсутствии потерь тепла, то достигается максимально возможная температура, которая называется теоретической температурой горения. В практических условиях сжигания газа часть выделившегося тепла теряется в окружающую среду, а также затрачивается на процессы, протекающие с поглощением тепла. Кроме того, сжигание газа в большинстве случаев происходит с некоторым избытком воздуха и часть тепла расходуется на нагрев этого избытка. Поэтому действительная температура горения несколько ниже теоретической.

Температура воспламенения и пределы воспламеняемости

Минимальная температура, до которой должна быть нагрета газовоздушная или газокислородная смесь, чтобы начался процесс горения, называется *температурой воспламенения*.

Газовоздушные или газокислородные смеси могут воспламениться только тогда, когда содержание газов в них находится в интервале определенных пропорций, вне которых эти смеси без притока тепла извне не горят. В связи с этим различают низшую и высшую концентрации горючих компонентов в газовоздушной или газокислородной смеси, которые называются соответственно низшим и высшим концентрационным пределом воспламеняемости.

Скорость распространения пламени

Пламя газовой горелки имеет четко выраженную поверхность воспламенения. Эта поверхность представляет собой неподвижный конус и характеризуется равенством скоростей распространения пламени и истечения газовоздушной смеси. При увеличении скорости истечения газовоздушной смеси конус поверхности воспламенения будет удлиняться до тех пор, пока не погаснет пламя. С уменьшением скорости истечения газовоздушной смеси конус поверхности воспламенения будет уменьшаться до тех пор, пока пламя не уйдет внутрь горелки и процесс горения прекратится.

Знание скорости распространения пламени необходимо для обеспечения нормальной работы газовых горелок: предотвращения отрыва пламени или проскока пламени внутрь горелки. Скорость распространения пламени определяется опытным путем.

§ 5. ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ

Одним из основных приборов, обеспечивающих качественное сжигание горючих газов и получение заданных режимов термообработки стекла, является газовая горелка. Горелки, применяемые в электровакуумном производстве, различаются как по назначению в технологическом процессе производства изделий из стекла, так и по принципу сжигания в них горючих газов. Многообразие конструктивного исполнения газовых горелок обусловлено также и разнообразием используемого газообразного топлива. По способу сжигания горючей смеси газовые горелки подразделяются на две группы: пламенные и беспламенные.

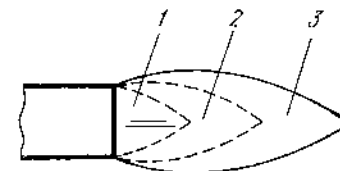
Пламенные горелки

Для пламенных горелок характерно наличие факела. На рис. 1 схематически показаны зоны факела пламенной горелки. Можно выделить следующие 3 зоны факела: восстановительную 1, зону полного сгорания 2 и окислительную 3. Восстановительная зона имеет самую низкую температуру ($300-520^{\circ}\text{C}$), а зона полного сгорания — наибольшую температуру ($1540-1560^{\circ}\text{C}$).

По тепловой мощности пламени факелы подразделяются на мягкие, средние и жесткие. Мягкое пламя получается при работе горелки на чистом газе или на

Рис. 1. Зоны факела пламенной горелки:

1 — восстановительная, 2 — полного сгорания, 3 — окислительная



смеси с небольшим содержанием воздуха (до 30%): оно имеет по всей длине факела примерно одинаковую температуру ($1000-1150^{\circ}\text{C}$) и благодаря избытку водорода обладает восстановительными свойствами. Обычно мягкое пламя используется на операциях подогрева и охлаждения стекла. Среднее пламя образуется при работе горелки на газовой смеси с содержанием воздуха выше 30%. Оно также обладает восстановительными свойствами и применяется на операциях плавного доведения температуры стекла до максимального значения. Жесткое пламя обладает окислительными свойствами; оно получается при работе горелки на смеси газа с воздухом или кислородом в соотношениях, близких или равных стехиометрическим. Температура жесткого пламени в различных точках факела неодинакова. Зона максимальной температуры находится на расстоянии 2—3 мм от вершины наружного конуса факела. Размеры конуса жесткого пламени зависят от рода сжигаемой газовой смеси. Так, например, водород и водяной газ дают короткий и острый конус пламени, природный газ — конус пламени на 50% длиннее, чем водород и водяной газ, а пропан-бутановая смесь (сжиженный газ) на 50—70% длиннее, чем природный газ.

Пламенные горелки можно классифицировать по следующим признакам: способу получения газовой смеси, составу сжигаемой горючей смеси и конструктивным особенностям.

По способу получения газовой смеси горелки подразделяются на четыре основные группы: диффузионные, атмосферные, или инжекционные, полного предварительного смешения и комбинированные.

В диффузионных горелках горючий газ смешивается с воздухом на выходе из них; такие горелки дают коптящее пламя и применяются преимущественно в печах и машинах сушки изделий. Основными достоинствами диффузионных горелок являются: простота конструкции, возможность работы при низких давлениях газа и отсутствие обратного проскака пламени (обратного удара).

В атмосферных горелках горючий газ смешивается с атмосферным воздухом непосредственно в самой горелке. Такие горелки не дают коптящего пламени и более экономичны по сравнению с диффузионными. Существенным недостатком атмосферных горелок является возможность обратного проскака пламени.

В горелки полного предварительного смешения подается горючая смесь, заранее приготовленная в специальных смесителях. Такие горелки получили наибольшее распространение в электровакуумном производстве. Большинство горелок этого типа снабжено запалом, препятствующим отрыву пламени от горелки. Для создания запального пламени часть газозвушной смеси отводится через специальные отверстия в камеру расширения, из которой она поступает к запальным отверстиям или щелям.

Благодаря малой скорости истечения газозвушной смеси из запальных отверстий запальное пламя имеет устойчивый факел и обеспечивает стабильную работу горелки при больших тепловых напряжениях. Горелки, работающие на газозвушных смесях с большим содержанием водорода, обычно не имеют запала.

По составу сжигаемой горючей смеси горелки подразделяются на газозвушные, газокислородные и водородно-кислородные. Конструктивное различие этих горелок заключается в наличии или отсутствии запала, в величине запала и в размерах основных рабочих отверстий.

По конструктивным признакам пламенные горелки подразделяются на барабанные, угловые, трубчатые, коробчатые, щелевые, веерные, ручные, стеклодувные и др.

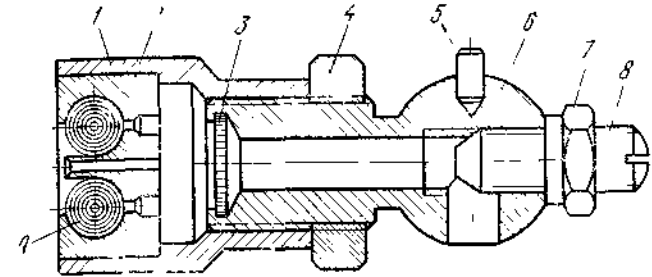


Рис. 2 Барабанная газозвушная горелка:
1 — корпус, 2 — сопло, 3 — сетка, 4, 7 — гайки, 5 — ограничительный штифт, 6 — хвостовик, 8 — регулирующий винт, 9 — сеточный валик

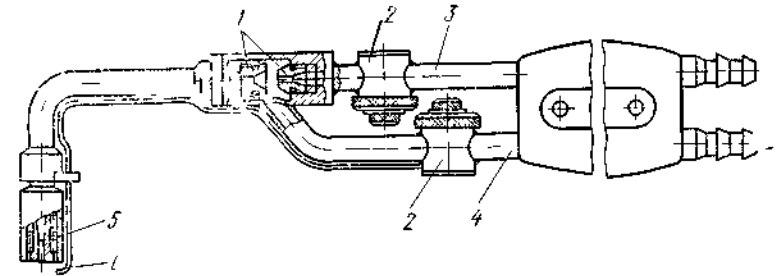


Рис. 3. Ручная стеклодувная горелка:
1 — смесители, 2 — краны, 3 — трубопровод подвода воздуха, 4 — трубопровод подвода газа, 5 — рабочее сопло горелки, 6 — трубка дежурного пламени

На рис. 2 показано устройство барабанной газозвушной горелки, нашедшей широкое применение на подогревных и основных операциях обработки стеклянных изделий. Сопло 2 горелки, кроме основных рабочих отверстий, имеет запальные отверстия и пазы для укладки сеточного валика 9. Последний предназначен для разделения потока газа, идущего на запал, на ряд струек и обеспечения тем самым более равномерного и устойчивого запального пламени. Хвостовик 6 служит

для крепления и регулировки горелки относительно обрабатываемого изделия, а также для подачи заранее приготовленной горючей смеси к соплу горелки.

Сетка 3 предназначена для улавливания механических частиц и предохранения магистрали подвода газовой смеси к горелке от обратного прорыва пламени (обратного удара).

На операциях напайки и отпайки стеклянных изделий на откачных постах применяются ручные стеклодувные (рис. 3) и ручные отпайные горелки. В ручных стеклодувных горелках горючую смесь получают непосредственно в самой горелке, а в ручных отпайных — в специальных смесителях.

Беспламенные горелки

Беспламенные горелки — это газовые горелки инфракрасного излучения, работающие по принципу беспламенного или точнее микрофакельного сжигания газа. Источником инфракрасного излучения в таких горелках служит раскаленная поверхность огнеупорной керамики, вблизи которой происходит горение газа. Инфракрасное излучение обеспечивает быстрый и равномерный нагрев стекла (поскольку тепловая энергия инфракрасного излучения поглощается практически всей толщиной нагреваемой детали), полноту сгорания газа, возможность соблюдения санитарных норм в рабочих помещениях и является поэтому одним из наиболее прогрессивных методов нагрева.

Применяемые в электровакуумном производстве беспламенные горелки подразделяются на два типа: чашеобразные и с перфорированной огневой насадкой.

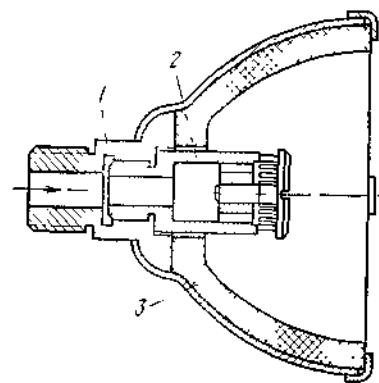


Рис. 4. Чашеобразная беспламенная горелка для природного газа и пропан-бутановой смеси
1 — корпус, 2 — сопло, 3 — керамическая чаша

Кроме того, беспламенные горелки по аналогии с пламенными можно классифицировать по способу получения газовой смеси, по составу сжигаемой горючей смеси и по конструктивным признакам.

На рис. 4 показана конструкция чашеобразной беспламенной горелки для природного газа и пропан-бутановой смеси. Заранее приготовленная газовоздушная смесь подводится к корпусу 1 и через щель сопла 2 разбрасывается по сферической поверхности керамической чаши 3, изготовленной из шамота, диаспа или магнезита. В первый момент после поджигания горелки пламя выходит за пределы горелки, но по мере разогрева керамики пламя постепенно втягивается в чашу и после достижения на ее поверхности температуры порядка 900—1000°С горение происходит непосредственно у поверхности огнеупорной керамики. Продукты сгорания газа циркулируют внутри чаши и подогревают вновь поступающую горючую смесь, обеспечивая тем самым увеличение скорости распространения пламени. Раскаленная поверхность чаши излучает тепловую энергию в окружающее пространство, значительная часть которой передается обрабатываемому изделию.

В беспламенных горелках с перфорированной огневой насадкой горючая смесь сжигается на поверхности плоского керамического диска, имеющего большое число сквозных цилиндрических каналов малого диаметра.

На рис. 5 показано устройство атмосферной беспламенной горелки с перфорированной огневой насадкой для природного газа и пропан-бутановой смеси. Газ в горелку подается через сопло 1, а воздух поступает через щели всасывающей камеры 2. Горючая смесь образуется в смесительной камере 3. Далее газовоздушная смесь через диффузор 4 поступает в керамическую огневую насадку 5, которая имеет множество сквозных отверстий диаметром около 1,5 мм. Через отверстия в огневой насадке газовоздушная смесь поступает на внешнюю поверхность керамического диска, где и протекает процесс ее беспламенного сжигания. Поверхность огневой насадки быстро разогревается до 800—900°С и становится источником инфракрасного излучения. При прохождении через отверстия насадки газовоздушная смесь подогревается до 500—600°С, что

благоприятно сказывается на процессе беспламенного горения.

В настоящее время беспламенные горелки обоих типов широко используются на таких операциях термообработки стеклоизделий, как подогрев, отжиг, сушка, обжиг, закалка и т. п.

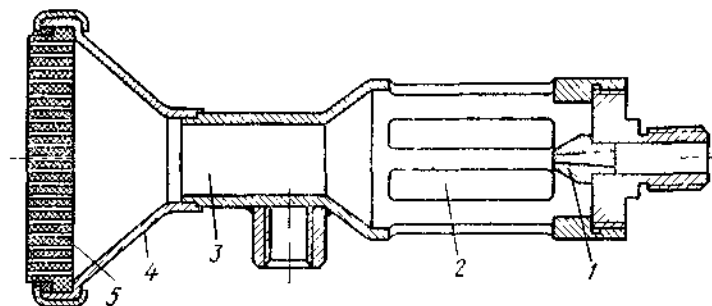


Рис. 5. Атмосферная беспламенная горелка с перфорированной огневой насадкой для природного газа и пропан-бутановой смеси:

1 — сопло, 2 — всасывающая камера, 3 — смесительная камера, 4 — диффузор, 5 — керамическая огневая насадка

§ 6. ГАЗОПРОВОДЫ И ГАЗОВАЯ АППАРАТУРА

Подводка горючих газов к машинам и постам огневой обработки стеклоизделий осуществляется с помощью газопроводов среднего и высокого давления. Для обеспечения стабильных режимов термообработки стеклоизделий с помощью газовых горелок на машинах и постах огневой обработки используются следующие элементы и устройства: краны и вентили — для регулирования подачи газов; регуляторы давления — для обеспечения постоянства давления подводимых газов; смесители — для приготовления смеси горючих газов; фильтры — для очистки газов от механических частиц, пыли и влаги; коллекторы — для распределения отдельных газов или их смеси на несколько горелок, установленных на различных операциях огневой обработки; шланги и трубки — для подвода газов от коллектора к горелкам; предохранительные клапаны — для защиты

обрабатываемых изделий от перегрева; манометры и расходомеры — для измерения давления и расхода газов.

Газопроводы

Газопроводы среднего (от $1,966 \cdot 10^3$ до $0,983 \cdot 10^5$ Па) и высокого (от $0,983 \cdot 10^5$ до $2,95 \cdot 10^5$ Па) давления изготавливаются из стальных бесшовных труб, соединяемых между собой сваркой. Резьбовые и фланцевые соединения применяются только в местах их присоединения к машинам и постам огневой обработки.

Различают верхнюю и нижнюю разводки газопроводов в производственных цехах. Более предпочтительна верхняя разводка, поскольку в этом случае легче обнаружить места утечки газа. После монтажа в цехе газопроводы испытывают на герметичность при повышенном давлении воздуха или инертного газа. ($P = 1,5 P_{\text{раб}}$, но не менее $0,983 \cdot 10^5$ Па) и окрашиваются в различные цвета, соответствующие роду пропускаемого газа:

газ природный или искусственный — красный
воздух под давлением до 2 ат — светло-серый
воздух под давлением свыше 2 ат — светло-серый
с красными кольцами
кислород — голубой
водород — зеленый
аргон — оранжевый
формиргаз — зеленый с черными кольцами
азот — черный с коричневыми кольцами

Краны и вентили

Наибольшее применение нашли пробковые краны, которые в зависимости от способа прижатия пробки к корпусу крана называются натяжными, сальниковыми, самоуплотняющимися или пружинными.

На рис. 6 показано устройство простейшего натяжного крана. Коническая пробка 1 с прорезью вставлена в коническое отверстие корпуса 2 и уплотнена с помощью натяжной гайки 3, навинчиваемой на резьбовую часть пробки 1. Шайба 4 предотвращает самоотвертывание гайки в процессе эксплуатации крана. Пробка крана поворачивается с помощью накидного ключа. Основным достоинством этого крана является простота конструкции. К недостаткам натяжного крана следует

отнести: возможность утечки газа между пробкой и корпусом, а также пропуск газа в закрытом положении крана через трущиеся части, на которых в результате износа образовались риски или царапины.

В качестве регуляторов расхода газов чаще всего используют тарельчатые или игольчатые вентили (рис. 7). К недостаткам конструкции вентилей следует отнести возмож-

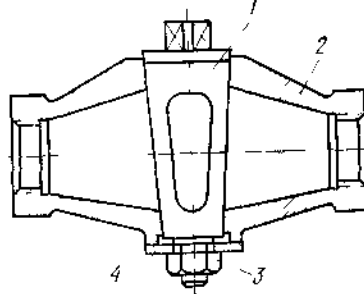


Рис. 6 Натяжной пробковый кран
1 — коническая пробка, 2 — корпус, 3 — гайка, 4 — шайба

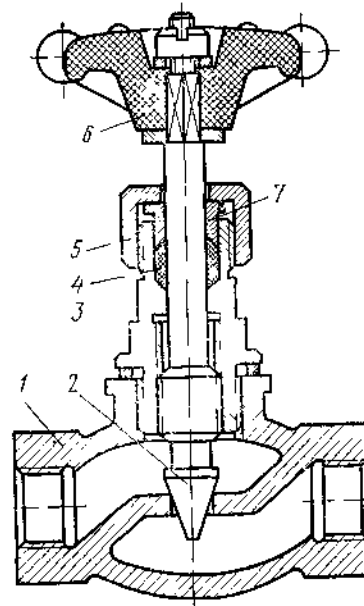


Рис. 7 Игольчатый вентиль
1 — корпус, 2 — конический клапан, 3 — сальниковое устройство, 4 — сальниковая набивка, 5 — накидная гайка, 6 — маховик, 7 — сальник

ность утечки газа через сальниковую набивку 4 и пропускания его через клапан 2 в закрытом состоянии из-за искривления или поломки последнего.

Регуляторы давления

От стабильности давления газа и воздуха в газопроводных магистралях предприятия в значительной степени зависит качество обработки и процент брака стеклянных изделий. Общезаводские, общеховые или групповые (на несколько единиц оборудования) регуляторы давления обычно не обеспечивают требуемой стабильности давления в основном из-за непостоянства потребления газа и воздуха. Поэтому чаще всего при-

меняют индивидуальные регуляторы давления, устанавливаемые на каждую единицу оборудования.

По принципу действия регуляторы давления подразделяются на регуляторы прямого и косвенного действия. На рис. 8 показано устройство простейшего регулятора давления прямого действия. При колебаниях давления P_2 мембрана 1 перемещает стержень 4 с клапаном 3 и изменяет площадь проходного сечения между клапаном и седлом 2. В результате этого давление P_2 стабилизируется, несмотря на колебания давления P_1 .

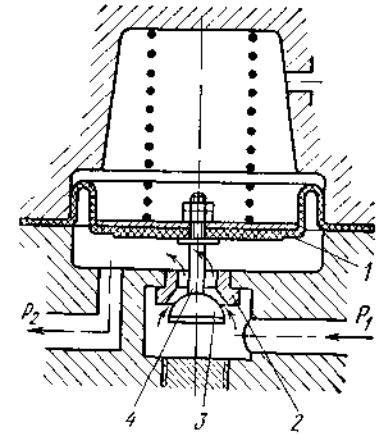


Рис. 8 Регулятор давления прямого действия
1 — мембрана, 2 — седло, 3 — клапан, 4 — стержень

Таким регуляторы давления нашли широкое применение благодаря простоте конструкции и малым колебаниям регулируемого давления (не более 3—5%).

Смесители

Качество перемешивания газа с необходимым количеством воздуха или кислорода существенно влияет на полноту сгорания смеси в газовой горелке и на свойства пламени. Перемешивание газа с воздухом происходит под действием турбулентных потоков и молекулярной диффузии. При турбулентном перемешивании перемещаются крупные порции (вихри) газов, состоящих из большого числа молекул, а при молекулярной диффузии перемещаются отдельные молекулы.

Для приготовления смеси горючих газов применяют в основном смесители инжекционного типа. Смешиваемые компоненты: газ — воздух или газ — кислород подаются в смеситель при избыточном давлении, что необходимо для получения определенной формы факела в газовой горелке.

В смесителе инжекционного типа (рис. 9) инжектирующий воздушный поток, проходя через сужающуюся и цилиндрические части воздушного сопла 2, увеличивает свою скорость. На выходе из сопла воздушный поток расширяется и перемешивается с газовым потоком. Далее газозвудушная смесь поступает в смесительное сопло 6, в конфузоре и камере смешения которых происходит дальнейшее ее перемешивание, а в диффузоре газозвудушная смесь перемешивается окончательно.

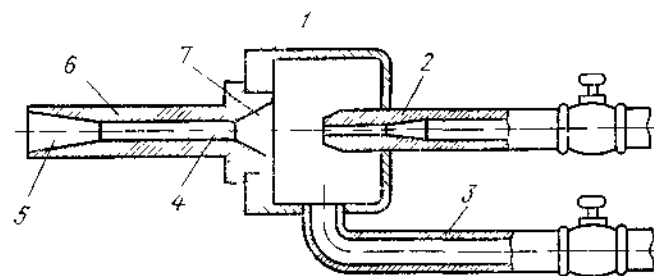


Рис. 9. Смеситель инжекционного типа:
1 — корпус, 2 — воздушное сопло с трубопроводом подвода воздуха, 3 — трубопровод подвода газа, 4 — камера смешения, 5 — диффузор, 6 — смесительное сопло, 7 — конфузор

Фильтры

Газ, пропускаемый через заводской газопровод, имеет, как правило, различные посторонние примеси (механические частицы, влага, смола, масло и т. п.) которые могут засорить газопроводы, смесители и другие элементы системы огневого оснащения. Для очистки газов от этих примесей используются очистительные устройства, называемые фильтрами. Принцип работы фильтра заключается в улавливании загрязняющих частиц фильтрующим материалом, имеющим поры меньше размера загрязняющих частиц.

Применяются следующие конструктивные разновидности фильтров: тканевые, наполнительные сухие, наполнительные смачиваемые, масляные.

Тканевый фильтр (рис. 10) состоит из трех основных частей: корпуса 2, кожуха 5 и фильтрующей части 4. Наиболее важной является фильтрующая часть: отра-

жатель 8, покрытая материей сетка 7 и войлочная прокладка 6. Такой фильтр работает в результате резкого изменения направления газового потока и последовательного прохождения им жалюзи отражателя и ячеек фильтрующего материала. Выпадающие при очистке газа частицы осаждаются на дне кожуха и на поверхности фильтрующего материала. По мере загрязнения фильтра внутреннюю поверхность кожуха следует очищать от пыли, а фильтрующую ткань заменять на новую.

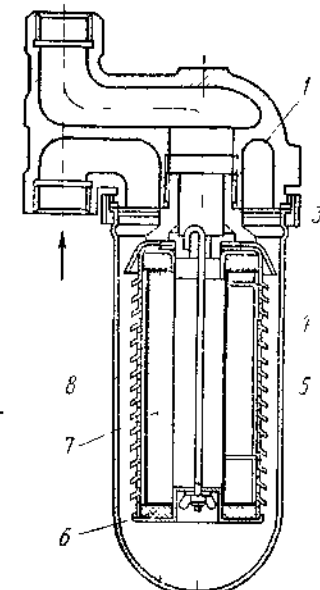


Рис. 10. Тканевый фильтр:
1 — патрубок, 2 — корпус, 3 — накидная гайка, 4 — фильтрующая часть, 5 — кожух, 6 — войлочные прокладки, 7 — сетка, 8 — отражатель

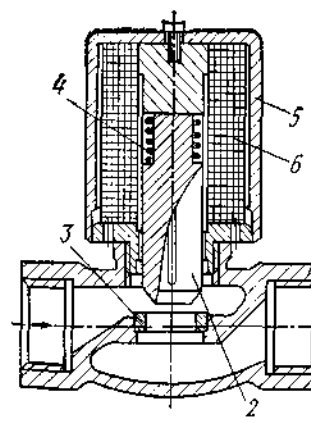


Рис. 11. Предохранительный клапан:
1 — корпус, 2 — сердечник, 3 — гнездо, 4 — пружина, 5 — каркас, 6 — катушка электромагнита

Предохранительные клапаны

Предохранительный клапан устанавливается обычно на газопроводе сжатого воздуха. Он предназначен для отключения подачи сжатого воздуха к горелкам машин огневой обработки изделий при нарушении режима работы этих машин (например, при остановке машины из-за отключения электроэнергии или поломки в приводе). Наибольшее применение нашли электромагнитные предохранительные клапаны (рис. 11).

Клапан перекрывается под действием пружины 4, а открывается под действием электромагнитного поля катушки 6. В нормальном рабочем режиме катушка электромагнита включена и клапан открыт, а в аварийном состоянии катушка электромагнита обесточивается и клапан закрывается, прекращая доступ воздуха в коллекторы машин огневой обработки изделий.

Расходомеры

По принципу действия расходомеры подразделяются на две группы:

- 1) расходомеры, измеряющие поток газа, т. е. расход газа в единицу времени (реометры, ротаметры);
- 2) расходомеры, измеряющие общее количество прошедшего через них газа (счетчики расхода газа).

Наибольшее применение нашли реометры и ротаметры благодаря их надежности и простоте конструкции.

Шкала 4 реометра (рис. 12) проградуирована непосредственно в единицах расхода газа, т. е. в л/мин, или см³/мин.

Диафрагма 6 создает определенное сопротивление потоку газа в трубке 7, что приводит к возникновению разности давлений по обе стороны диафрагмы. Измеряя эту разность давлений с помощью дифференциального манометра 2, можно определить поток газа, пользуясь известным соотношением между скоростью потока и измеренной разностью давлений. В качестве рабочей жидкости в дифференциальном манометре реометра используют керосин, воду или другие жидкости.

Точность показаний реометра должна периодически контролироваться путем сравнения с газовыми часами или градуировки по эталонным реометрам.

Конструктивно ротаметр (рис. 13) значительно проще реометра. Ротаметр состоит из стеклянной трубки 1 с очень малой внутренней конусностью и поплавка 2, свободно перемещающегося вдоль трубки. Газ через ротаметр пропускается снизу вверх. В зависимости от расхода газа поплавок занимает определенное положение по высоте трубки.

Отсчет расхода газа производится по делениям, нанесенным на наружной поверхности стеклянной трубки.

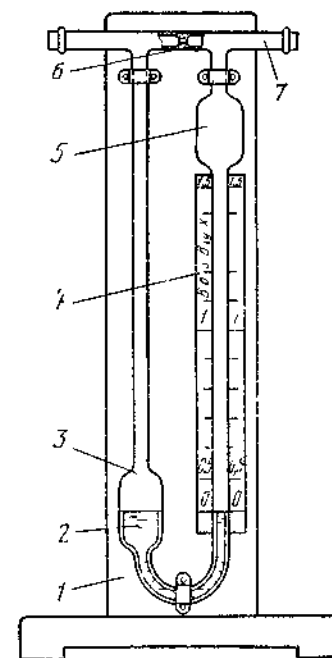


Рис. 12. Реометр:

1 — штатив, 2 — дифференциальный жидкостный манометр, 3 и 5 — камеры расширения, 4 — шкала, 6 — диафрагма, 7 — стеклянная трубка

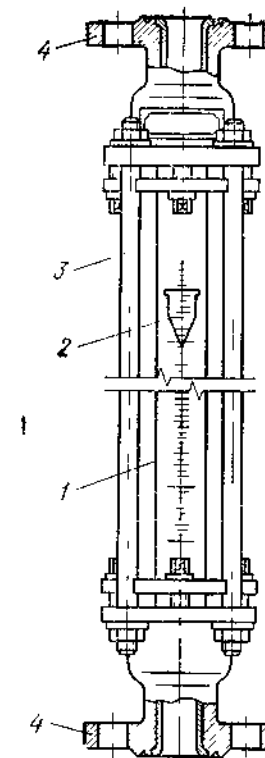


Рис. 13. Ротаметр:

1 — конусная стеклянная трубка, 2 — поплавок, 3 — корпус, 4 — присоединительные фланцы

Контрольные вопросы

1. Какие виды газообразного топлива вы знаете? Назовите их примерный состав и способы получения.
2. Какие требования предъявляются к горючим газам? Перечислите основные свойства горючих газов.
3. Какие примеси могут входить в состав горючих газов? Каково влияние вредных и балластных примесей?
4. По каким признакам классифицируются газовые горелки? Охарактеризуйте мягкое, среднее и жесткое пламя.
5. Назовите основные элементы системы огневого оснащения технологического оборудования электровакуумного производства. По каким признакам можно отличить газопроводы для подвода различных газов?

Глава III. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТЕКЛА

§ 7. СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

Стекло представляет собой химически стойкий продукт сплавления окислов, который при нагревании превращается в вязкую жидкость, а при затвердевании — в аморфное вещество. В отличие от кристаллических веществ стекло не имеет определенной температуры плавления, а имеет лишь некоторую температурную зону размягченного состояния, так как нагрев и охлаждение его сопровождаются плавным изменением вязкости.

Широкое применение технического стекла в электровакуумном производстве обусловлено совокупностью следующих физико-химических свойств: термических (коэффициент термического расширения КТР, термостойкость, зависимость вязкости от температуры), механических (прочность при растяжении, сжатии, изгибе и ударе, плотность, коэффициент Пуассона, модуль упругости при растяжении); электрических (удельное объемное и поверхностное сопротивления, угол диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость); химических (влагостойкость, устойчивость к парам щелочных металлов); вакуумных (газопроницаемость, газовыделение). Перечисленные физико-химические свойства в значительной степени зависят от состава технических стекол.

К отрицательным свойствам технического стекла, ограничивающим его применение в ряде электровакуумных приборов, следует отнести малую механическую прочность при растяжении, изгибе и ударе, малую термостойкость и низкую теплопроводность.

Рассмотрим более подробно некоторые из этих свойств.

Коэффициент термического расширения

Термическое расширение стекла характеризуется коэффициентами линейного α и объемного β расширения. Поскольку эти величины связаны между собой строгим соотношением $\beta = 3\alpha$, то для оценки процесса термического расширения пользуются только коэффи-

циентом линейного термического расширения α (КТР), значения которого приводятся в технической литературе

Величина КТР служит для оценки пригодности той или иной марки стекла к спаиванию с другими стеклами и материалами. Для применяемых в электровакуумном производстве отечественных технических стекол величина КТР колеблется от $5,8 \cdot 10^{-7}$ до $150 \cdot 10^{-7}$. В зависимости от величины КТР стекла можно условно подразделить на твердые или тугоплавкие (с КТР от $5,8 \cdot 10^{-7}$ до $55 \cdot 10^{-7}$) и мягкие или легкоплавкие (с КТР от $55 \cdot 10^{-7}$ до $150 \cdot 10^{-7}$), а также на группы по названиям металлов, с которыми возможно их спаивание: молибденовые (с КТР от $47 \cdot 10^{-7}$ до $54 \cdot 10^{-7}$), вольфрамовые (с КТР от $36 \cdot 10^{-7}$ до $40 \cdot 10^{-7}$) и т. д. Качественные спай стекла с различными материалами могут быть получены только тогда, когда КТР спаиваемых деталей не отличается более чем на 5%. Поэтому необходим самый тщательный контроль КТР всех поставляемых партий стекла, включая оперативный контроль КТР заготовок на рабочем месте.

КТР стекла обычно измеряют с помощью дифференциального dilatометра, который позволяет снять кривую расширения стекла во всем интервале рабочих температур. Оперативный контроль КТР на рабочем месте может быть проведен также по методу изгиба двойной стеклянной нити: путем сравнения КТР контролируемого стекла с КТР эталонного образца.

Термостойкость

Под *термостойкостью* стекла понимают его способность выдерживать без разрушения резкие изменения температуры. Различают термостойкость стекла и стеклянных изделий. Термостойкость стекла зависит в основном от его КТР, а термостойкость стеклянного изделия — еще от формы изделия, толщины его стенок и наличия дефектов в спаях.

Наибольшую термостойкость имеют стекла с малым КТР. Так, кварцевое стекло (КТР $5,8 \cdot 10^{-7}$) имеет термостойкость 1200°C .

Измеряют термостойкость путем испытания стеклянных стержней заданного размера, которые сначала нагревают до некоторой температуры, а затем резко ох-

лаждают, погрузив, например, в воду. При этом за величину термостойкости принимается максимальный перепад температуры, который выдержал испытуемый стержень без разрушения. Чтобы определить термостойкость стеклянных изделий, их подвергают испытаниям в условиях, максимально приближенных к рабочим. В процессе этих испытаний выявляются вредные напряжения в спаях и причины пониженной термостойкости изделий.

Зависимость вязкости от температуры

Свойством, в наибольшей степени определяющим режимы термической обработки стекла, является вязкость. В качестве единицы динамической вязкости принят 1 пуаз (П). Вязкость стекла плавно меняется с температурой: при нагревании она уменьшается, достигая значений $10-10^2$ П в жидком состоянии, а при остывании постепенно увеличивается, достигая значений 10^{15} П в твердом состоянии. При изготовлении изделий из стекла важно, чтобы кривая изменения вязкости от температуры была относительно пологой и позволяла формовать стекло в более широком интервале температур. В зависимости от ширины зоны размягченного состояния (вязкость 10^3-10^7 П) различают «длинные» и «короткие» стекла. Более «длинными» являются легкоплавкие стекла с высоким содержанием окиси свинца.

По кривой зависимости вязкости от температуры устанавливается режим отжига стекла; отжиг обычно проводят в интервале вязкости $10^{12}-10^{14}$ П, что позволяет за 10-15 мин снять все остаточные напряжения в стекле.

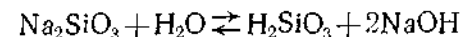
Электропроводность стекла

Электропроводность стекла оценивается по величине удельного объемного электросопротивления, которая существенно зависит от температуры. При комнатной температуре удельное электросопротивление стекла составляет $10^{13}-10^{17}$ Ом·см, что свидетельствует о его высоких электроизоляционных свойствах. С повышением температуры это сопротивление уменьшается, достигая значений $10-10^2$ Ом·см при температурах, близких

к зоне размягченного состояния стекла. Для удобства сравнения различных марок технических стекол электропроводность оценивают по температуре, при которой удельное объемное электросопротивление равно 100 МОм·см (T_K-100). Наибольшее значение T_K-100 имеет кварцевое стекло ($\sim 600^\circ\text{C}$).

Химическая устойчивость стекла

Под химической устойчивостью технического стекла понимается его устойчивость к воздействию воды, различных химических реактивов (кислот, щелочей и т. п.) и паров щелочных металлов. Длительное хранение стеклянных заготовок во влажной атмосфере приводит к разрушению их поверхности (стекло тускнеет и теряет свою прозрачность) благодаря взаимодействию воды с поверхностью стекла по реакции:



Образующаяся при этом щелочь усугубляет разрушение поверхности заготовок. Повысить химическую устойчивость стекла к воздействию воды можно только путем удаления с его поверхности щелочных соединений (травлением разбавленными соляной, азотной или муравьиной кислотами или отжигом в печи). Механизм повышения химической устойчивости стекла заключается в образовании на его поверхности тонкого защитного слоя коллоидной кремниевой кислоты, замедляющего разрушение поверхности. По степени устойчивости к воздействию воды стекла делятся на пять гидролитических классов (с I по V).

Наименьшую химическую устойчивость имеют стекла по отношению к плавиковой и фосфорной кислотам.

В общем химическая устойчивость зависит от состава и состояния поверхности стекла, а также от вида реактива.

Газопроницаемость стекла

Под газопроницаемостью в технике понимают процесс проникновения газов через толщу различных материалов.

Для технических стекол практическое значение имеет их проницаемость по гелию и водороду; проницае-

мость других газов ничтожно мала и ею обычно пренебрегают. Проницаемость гелия через стекло примерно в 10 раз больше, чем водорода, несмотря на то, что атомный радиус гелия (0,53) больше атомного радиуса водорода (0,37). Это объясняется тем, что при проникновении водорода через стекло образуются гидроксильные группы, препятствующие потоку газопроницаемости H_2 . Наибольшей газопроницаемостью по He и H_2 обладает кварцевое стекло, наименьшей — алюмосиликатное.

§ 8. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

Основные параметры стекол отечественного производства приведены в табл. 3.

Кварцевое стекло С5-1 обладает высокими электроизоляционными свойствами и используется поэтому для изготовления различных изоляторов и внутренних деталей мощных электровакуумных приборов.

Группа стекол от П-15 до С54-1 относится к тугоплавким стеклам и подразделяется по составу на боросиликатные с содержанием суммы окислов SiO_2 и B_2O_3 до 90% и алюмосиликатные с содержанием суммы окислов Al_2O_3 и SiO_2 до 72—82%. В состав этой группы стекол входят вольфрамовые (П-15, С37-1, С37-2, С38-1, С39-1, С39-2, С40-1) и молибденовые (С47-1, С48-1, С48-3, С49-1, С49-2, С49-3) стекла, пригодные для получения согласованных спаев с W и Mo. Боросиликатное стекло П-15 используется как промежуточное при спайании вольфрама с кварцевым стеклом. Существенным недостатком этого стекла является склонность к расстекловыванию при длительном нагревании в пламени газовой горелки. Суть расстекловывания заключается в выпадении кристаллов кремнезема и силикатов щелочноземельных металлов, что приводит к понижению механической прочности стекла и помутнению его поверхности. Свинцовое боросиликатное стекло С39-1 отличается высокими электронизоляционными свойствами, однако из-за наличия в его составе примеси PbO оно должно обрабатываться только в окислительном пламени горелки. Обработка такого стекла в восстановительном пламени приводит к восстановлению свинца из окиси PbO . Группа молибденовых стекол обладает ма-

Таблица 3

Марки стекол	Температура размягчения, °С	Зона ожога, °С		Темперостойкость, °С	КТР 107 при 20—300° С	Химическая устойчивость	
		верхняя граница	нижняя граница			Потери массы в воде, %	Гигиенический класс
1	2	3	4	5	6	7	8
С5-1 (кварцевое)	1250	—	—	—	5,8±0,3	—	I
П-16 (пирекс)	600	560	—	—	33,4±0,5	—	I
С37-1 (№ 40)	810	750	580	185	37,5±1,5	0—0,08	I
С37-2	600	—	—	250	37,0±1,5	Свыше 0,44	I
С38-1 (3С-9)	575	480	390	240	38,0±2	Свыше 0,44	V
С38-2	600	—	—	230	38,0±1,7	Свыше 0,44	V
С39-1 (№ 17)	630	540	410	230	39,5±1,5	Свыше 0,44	V
С39-2	790	—	—	180	39,0±2	0—0,08	I
С40-1 (3С-11)	620	520	385	260	40,0±1,5	0,22—0,44	IV
С41-1	800	730	530	160	41,0±2	0—0,08	I
С47-1 (№ 46)	590	555	420	200	47,0±1	0—0,08	I
С48-1 (3С-8)	555	500	360	200	48,0±1	Свыше 0,44	V
С48-2	570	—	—	180	48,0±1,5	Свыше 0,44	I
С48-3	810	750	550	150	48,0±2	0—0,08	V
С49-1 (3С-5)	580	540	410	180	49,0±1	Свыше 0,44	V
С49-2 (3С-5К)	585	535	410	180	49,0±1	Свыше 0,44	V
С49-3	515	—	—	—	49,0±1	Свыше 0,44	V

Тугоплавкие

1	2	3	4	5	6	7	8
C50-1	620	575	430	150	50,0 ± 1	0,08—0,12	I
C50-2	665	—	—	—	50,0 ± 2	0,08—0,22	III
C50-5 (Л-200)	—	—	—	—	50,0 ± 2	—	—
C54-1 (№ 35)	575	555	440	170	54,0 ± 1,5	Свыше 0,44	V
Легкоплавкие							
C72-4	600	—	—	—	72,0 ± 2	0,08—0,12	V
C76-1	530	—	—	—	76,0 ± 2	Свыше 0,44	II
C82-1 (№ 36)	600	545	425	130	82,0 ± 2	0,12—0,22	V
C84-1	500	490	350	110	84,0 ± 1	Свыше 0,44	III
C87-1 (3С-4)	500	450	360	100	87,0 ± 1	0,12—0,22	V
C88-1 (710)	500	460	340	126	88,0 ± 1	0,12—0,22	III
C88-2	580	525	390	115	88,0 ± 1,5	0,12—0,22	III
C89-1 (№ 2)	560	520	410	105	89,0 ± 2	Свыше 0,44	III
C89-2 (23)	580	530	410	115	89,0 ± 2	0,08—0,12	V
C89-6	570	505	385	125	89,0 ± 1	0,22—0,44	II
C89-8	530	—	—	135	89,0 ± 2	0,08—0,12	IV
C89-9	550	505	400	—	88,5 ± 1,5	—	II
C90-1 (БД-1)	550	505	400	110	90,0 ± 1	0,22—0,44	—
C90-2 (215)	515	—	—	—	90,0 ± 2	—	IV
C120-1	445	405	285	90	120,0 ± 2	0,22—0,44	IV

лой химической устойчивостью, но практически не рас-
стекловывается при длительном нагревании в пламени
газовой горелки.

Алюмосиликатные стекла С39-2, С41-1, С48-3, С50-1
отличаются повышенной термостойкостью, высокой хи-
мической устойчивостью, хорошими электроизоляцион-
ными свойствами и малой газопроницаемостью.

К легкоплавким стеклам относится группа стекол от
С72-4 до С120-1. Эти стекла используются для изготов-
ления ножек, колб и других деталей массовых типов
электровакuumных приборов. Наибольшее применение из
этой группы стекол нашло свинцовое стекло С87-1 бла-
годаря высокой пластичности, широкой зоне размягчен-
ного состояния и хорошим электроизоляционным свой-
ствам. Применяется оно для изготовления сложных де-
талей ЭВП и осуществления несогласованных спаев с
платинитом. К недостаткам этого стекла следует отне-
сти его дороговизну вследствие высокого содержания
РbО и склонность к почернению из-за восстановления
свинца из РbО.

Из общего числа тугоплавких и легкоплавких стекол
можно выделить группы стекол, устойчивые к действию
электронной бомбардировки (С50-1, С50-5, С89-9) и к
действию паров щелочных металлов (С50-1, С50-2,
С84-1).

§ 9. ОСНОВЫ СПАИВАНИЯ СТЕКЛА С РАЗЛИЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Сущность процесса спаивания стекла со стеклом за-
ключается в подготовке спаиваемых заготовок, разогре-
ве зон спаивания до размягченного состояния с после-
дующим соприкосновением и сжатием спаиваемых де-
талей. В отличие от этого процесс изготовления спая
стекло—металл завершается сжатием размягченной
стеклянной детали с раскаленным металлом. Изготов-
ленные спай подвергают термообработке. Качество по-
лученных спаев в значительной степени зависит от пра-
вильного подбора спаиваемых материалов как по их
КТР, так и по другим физико-химическим свойствам.
Неправильный подбор спаиваемых материалов и ошиб-
ки в установлении режимов их термообработки приво-
дят к образованию различных дефектов, основными из
которых являются: тепловые напряжения, обусловлен-

ные различием в КТР спаиваемых материалов; расстекловывание или кристаллизация стекла; электролиз стекла; газовые пузыри в спае.

Тепловые напряжения характерны как для спаев стекло — стекло, так и для спаев стекло — металл. Причиной возникновения тепловых напряжений может быть не только различие в КТР спаиваемых материалов, но и неравномерный разогрев или остывание спая. Наличие больших тепловых напряжений в спаях приводит к образованию трещин в стекле или к отлипанию спаиваемых материалов. Если же тепловые напряжения не превышают механической прочности спая, то они не столь опасны.

Избежать возникновения тепловых напряжений в спаях можно только при идеальном совпадении КТР спаиваемых материалов. Однако подобрать материалы с идеальным совпадением КТР во всем диапазоне рабочих температур (от комнатной до температуры спаивания) практически не удастся. По степени совпадения КТР спаиваемых материалов спай можно условно разделить на согласованные и несогласованные.

В согласованных спаях КТР спаиваемых материалов равны или мало отличаются во всем диапазоне рабочих температур. Тепловые напряжения в этих спаях невелики и при правильном подборе режима отжига не причиняют вреда изделию.

В несогласованных спаях КТР спаиваемых материалов резко различаются. Чтобы предотвратить развитие больших тепловых напряжений в этих спаях, металлическую деталь спая конструируют таким образом, что она может свободно деформироваться при деформации стекла.

Расстекловывание или кристаллизация стекла развивается при длительной выдержке его в размягченном состоянии. Такие условия часто создаются при огневой обработке больших и сложных стеклянных изделий.

Для уменьшения кристаллизации в стекло добавляют окислы щелочных металлов, силикаты которых очень медленно кристаллизуются. Однако при температурах выше 700—800°С окислы щелочных металлов легко испаряются с поверхности стекла и такое стекло становится склонным к поверхностной кристаллизации. Стекло с поверхностной кристаллизацией считается непригодным для изготовления деталей ЭВП. Чтобы предотвра-

тить этот процесс, применяют так называемую «солку» пламени газовой горелки. В пламя горелки вносят пары щелочного металла — натрия (асбестовая ткань, смоченная раствором соды или поваренной соли). При этом поверхность стекла, обедненная в результате кристаллизации силикатами щелочных металлов, насыщается натрием.

Электролиз стекла характерен в основном для спаев стекла с металлическими электродами, находящимися под различными потенциалами. Известно, что с повышением температуры электропроводность стекла повышается. Это объясняется тем, что различные силикаты, входящие в состав стекла, диссоциируют на ионы (например на ионы Na^{+1} , K^{+1} , Ca^{+2} и др.), которые под действием разности потенциалов между впаянными в стекло электродами начинают перемещаться к аноду или к катоду в соответствии с их зарядами. Электропроводность стекла в основном определяется перемещением положительных ионов Na^{+1} и K^{+1} к отрицательному электроду (катоду).

В результате электролиза слои стекла вокруг катода обогащаются натрием и калием, а у анода увеличивается содержание SiO_2 . Это приводит к тому, что КТР стекла около спаев сильно изменяется и спай в конце концов разрушается. Одновременно на катоде выделяется водород, а на аноде — кислород, что приводит к восстановлению или окислению указанных электродов.

В свинцовых стеклах на катоде появляются черные отложения металлического свинца, который восстанавливается из окиси PbO накапливающимися там щелочными металлами.

Существуют следующие методы борьбы с электролизом стекла:

- 1) применение стекла с высоким удельным электросопротивлением;
- 2) увеличение расстояния между электродами;
- 3) охлаждение спая.

Газовые пузыри на поверхности спая характерны главным образом для спаев металл — стекло. Можно выделить несколько причин возникновения газовых пузырей:

загрязнения поверхности спая; выделение газов из материалов спая; наличие примесей на поверхности ме-

талла, дающих при температуре спаивания реакции окисления с образованием газов: CO, CO₂, SO₂ и др.

Разрозненные газовые пузыри в спае не представляют большой опасности, так как они не нарушают его герметичности. Однако они понижают механическую прочность спаи и способствуют возникновению в нем трещин и волосных каналов. Наличие цепочки газовых пузырей в спае, как правило, приводит к нарушению его герметичности.

Надежные спаи стекло—стекло и стекло—металл могут быть получены только при условии использования заготовок, удовлетворяющих требованиям к спаиваемым материалам. При выборе металла для спаивания со стеклом необходимо учитывать следующие его свойства: КТР, температуру плавления, химическую стойкость по отношению к различным газам и парам, механическую прочность, обрабатываемость, газовыделение и газопроницаемость, упругость паров в вакууме. Основные свойства некоторых металлов и сплавов для изготовления спаев со стеклом приведены в табл. 4.

Металлы, используемые для изготовления спаев со стеклом, должны иметь стабильную структуру во всем диапазоне рабочих температур. Пороки проката металлов (волосовины, закаты, флокены, включения) совершенно недопустимы.

Подготовка стеклянной детали спаи заключается в оплавлении кромок торцевой плоскости заготовки или в ее шлифовке с последующей промывкой в воде и сушкой в термостате. Торцы стеклянных трубок шлифуют на вращающихся чугунных дисках, применяя абразивную кашку. Подготовленные стеклянные заготовки бережно хранят до изготовления спаи.

Материал, идущий на изготовление металлической детали спаи, подвергают входному контролю на соответствие техническим условиям с определением КТР и выявлением скрытых дефектов. Из материала, прошедшего входной контроль, изготавливают детали, которые в дальнейшем проходят операции обезжиривания и травления. Чистота поверхности металлической детали должна находиться в пределах 5—7-го класса, определяемого по средней высоте неровностей поверхности. Чем больше средняя высота неровностей (шероховатость) поверхности, тем прочнее сцепление стекла с металлом. В то же время с увеличением шероховатости

Таблица 4
Металлы и сплавы для изготовления спаев со стеклом

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Металл или сплав	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Средний КТР в интервале 20—200°С, × 10 ⁻⁷ , град-1	Удельное электрическое сопротивление при 20°С, Ом·см	Временное сопротивление разрыву, кг/мм ²	Относительное удлинение, %	Упругость паров в вакууме при 1000—1500°С, Па	Твердость, кг/мм ²	Предел текучести, кг/мм ²
Вольфрам	17,6—19,4	3410	44,4	0,055—0,083	180—415	4—1	2,66·10 ⁻¹³	350	78
Молибден	10—10,5	2660	55	0,048—0,056	70—100	20—10	7,98·10 ⁻⁷	147	50
Тантал	16,6—17	2996	65	0,155	350—120	40—1	1,33·10 ⁻⁶ (при 2200°С)	45—350	34—40
Цирконий	6,5	1852	60	0,45	20—100	40—1	1,33·10 ⁻⁶	67—150	8—59
Титан	4,5	1670	82	0,42—0,55	45—102	40—3	1,33·10 ⁻³ (при 1100°С)	73—260	14—80
Платина	21,45	1771	90,7	0,108	14—37	46—2,5	1,33·10 ⁻⁶ — 1,33·10 ⁻⁴	40—103	1,5—19
Палладий	12,0	1552	119	0,107	14—54	40—1,0	1,33·10 ⁻⁵ (при 1000°С)	46—109	3,5—21
Железо	7,88	1531	125	0,096	18—62	60—1,5	1,33·10 ⁻⁴ (при 1000°С)	45—120	7—50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Никель	8,85	1452	133	0,063—0,095	32—100	50—2	$1,33 \cdot 10^{-5}$ (при 1000°С)	80—220	6—90
Медь	8,9	1083	165	0,017	16—50	50—2	$1,33 \cdot 10^{-2}$ (при 1000°С)	36—120	1—4
Платинит	8,9	—	60—100	0,046—0,057	28—38	25—12	—	—	30—35
Ковар (29НК) . . .	8,3	1450	46—52	0,61	53—65	38—35	—	—	35—37
Нержавеющая сталь (X18H10T)	7,85	1425	273	0,73	56—63	60—55	—	130—185	25—32
Нихром (Х20Н80)	8,4	1400	145	1,08—1,15	40—77	60—15	—	85—105	—
52Н (фени 52) . .	8,15	1455	103	0,43	60—95	41	—	—	22
48Н (оммет) . . .	8,3	1455	87	0,5	51	44	—	120	—
42Н (фени 42) . .	8,2	1450	47	0,65	58—84	38—28	—	118	20—50
30 НКД	8,0	1450	41	0,51—0,54	52	39	—	119	36

поверхности затрудняется ее очистка и возрастает минимально допустимая толщина металлической детали. Для окончательной очистки поверхности и частичного обезгаживания металлические заготовки отжигают в вакууме или водороде.

Перед изготовлением спая металлические детали проходят операцию поверхностного окисления. От толщины окисной пленки на металлической детали зависит качество изготовленных спая: при слишком большой или малой толщине окисной пленки спай получается ненадежным.

В процессе изготовления спая металл подвергают длительному нагреву при высокой температуре, что может привести к его переокислению. Для защиты металла от переокисления при изготовлении спая применяют следующие способы:

1) предварительное покрытие поверхности металлической детали в зоне спаивания стеклянной пастой или эмалью;

2) создание пленки борированной закиси меди на поверхности деталей из меди и других медных металлов;

3) электролитическое осаждение на поверхности детали пленок других металлов: хрома, меди, серебра, золота;

4) изготовление спая в среде защитного газа: азота, аргона, водорода, формиргаза и др.

При изготовлении спая стекло—стекло и стекло—металл могут применяться следующие способы нагрева деталей: с помощью газовых горелок; индукционный нагрев токами высокой частоты (ТВЧ); нагрев в промышленных печах: муфельных, туннельных и т. п.; путем прямого пропускания электрического тока через металлическую деталь; газозлектрический нагрев.

§ 10. КОНСТРУКЦИИ СПАЕВ

Конструктивное исполнение спая зависит от свойств спаиваемых материалов, квалификации рабочего, размеров изделий, для которых эти спай предназначены, возможностей парка механического оборудования и т. п. К конструкции спая предъявляются следующие общие требования:

1) стеклянная часть спая должна иметь плавные переходы между отдельными элементами;

2) граница спая должна представлять собой однообразную геометрическую поверхность: цилиндр, конус, плоскость и т. п.

По конструкции спай подразделяются на рантовые согласованные и несогласованные, сжатые, дисковые, окошечные, одиночные вводы, плоские и гребешковые ножки.

Рантовые согласованные и несогласованные спай

Рантовые согласованные и несогласованные спай показаны на рис. 14, а и б. Ширина шва согласованного спая зависит от диаметра и составляет 1—6 мм для

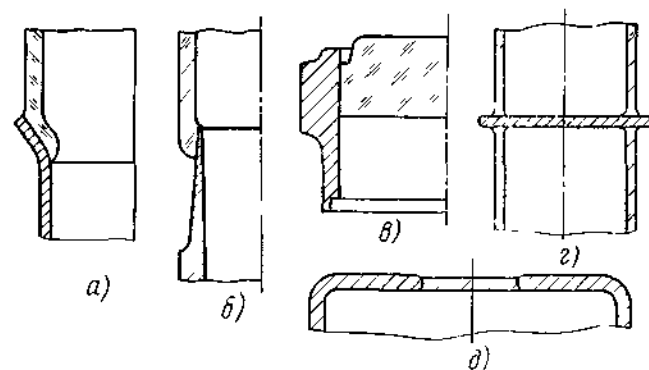


Рис. 14. Спай:

а — рантовый согласованный, б — рантовый несогласованный, в — сжатый, г — дисковый, д — окошечный

Ø 5—70 мм. При изготовлении рантовых несогласованных спаев, называемых также лезвенными, исходят из того, что тонкостенные металлические трубки, впаянные в достаточно толстое стекло, не могут вызвать в нем разрушающих напряжений.

Для изготовления таких спаев могут быть использованы материалы с любым соотношением КТР. Наиболее распространенным металлом для изготовления лезвенных спаев является медь благодаря высокой пластичности и хорошей смачиваемости ее окисной пленки стеклом.

К недостаткам лезвенных спаев следует отнести: малую механическую прочность тонкостенного лезвия; низкую термостойкость лезвия при длительных циклических нагрузках; возможность сквозного межкристаллитного окисления тонкостенного лезвия, приводящая к потере герметичности спая.

Сжатые спай

В основу конструкции сжатого спая (рис. 14, в) положен принцип сведения всех напряжений в спаях к сжимающим. Это достигается тем, что стекло, впаяемое внутрь металлического цилиндра, имеет КТР меньше, чем КТР металла. Такие спай по сравнению с лезвенными отличаются более высокой прочностью при растяжении и большей жесткостью. Однако при конструировании сжатых спаев следует учитывать, что при большой разнице в КТР спаиваемых материалов в металлической детали спая возникают значительные усилия сдвига. Толщина стенки металлического цилиндра поэтому должна быть не менее 1—2 мм. В противном случае деформация цилиндра может привести к растрескиванию стекла.

Дисковые спай

Дисковыми называют спай торца стеклянной трубки с плоскостью металлического диска (рис. 14, г). Такие спай могут быть согласованными и несогласованными.

При изготовлении согласованных спаев применяют диски толщиной 0,5—3 мм, хотя принципиальных ограничений по толщине диска нет.

Несогласованные дисковые спай изготавливают в основном из медных дисков толщиной 0,25—0,35 мм.

Окошечные спай

Большей частью окошечные спай получают методом согласованного спаивания (рис. 14, д).

Одиночные вводы

Различают одиночные вводы в стекло (рис. 15, а) и металл (рис. 15, б). В качестве материала ввода в за-

в зависимости от марки стекла могут быть использованы: молибден, ковар, вольфрам и др. Одиночные вводы применяются чаще всего как токовые вводы, а также как держатели внутренней арматуры электровакуумных приборов.

В отличие от вводов в стекло вводы в металл имеют обязательно переходную металлическую деталь.



Рис 15 Одиночные вводы
а — в стекло, б — в металл

Плоские ножки

Конструкция плоских ножек зависит от размера электровакуумного прибора, способа изготовления и свойств спаиваемых материалов. Различают плоские ножки для стеклянных и металлических приборов. Конструкция плоской ножки для соединения с металлическими колбами приборов показана на рис 16, а.

Отличительной особенностью плоских ножек различной конструкции является форма ранта или бусинки для впаивания ввода (рис. 16, б, в). Выбор той или иной конструкции ранта или бусинки определяется конкретными условиями соединения ножки с прибором, назначением ножки, материалами, конструкцией вводов и т. п.

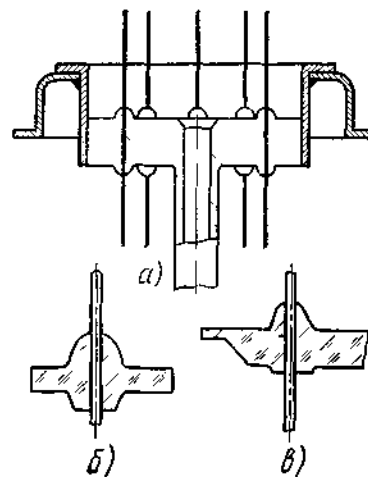


Рис 16 Плоская ножка для соединения с металлической колбой
а — общий вид, б, в — бусинки и ранты

Гребешковые ножки

По сравнению с плоскими ножками гребешковые ножки имеют ряд недостатков: малую жесткость крепления внутренней арматуры на вводах; малые расстояния между электродами; большую длину вводов.

Несмотря на перечисленные недостатки гребешковые ножки продолжают применять в лампах накаливания и других электровакуумных приборах.

По конструкции гребешковые ножки подразделяют на плоскогребешковые, фасонногребешковые и цилиндрические. Одна из конструкций фасонногребешковой ножки показана на рис. 17.

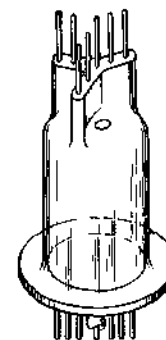


Рис 17 Гребешковая ножка

§ 11. ОТЖИГ СТЕКЛА И СПАЕВ

В результате огневой обработки в пламени горелки в стекле могут возникнуть следующие напряжения: переходные или временные, остаточные и напряжения, вызванные различием в КТР спаиваемых материалов.

Переходные напряжения возникают под действием механической нагрузки, перепада температур или совместного их действия и проявляются только при упругом (твердом) состоянии стекла, например, во время откачки приборов под действием давления окружающей атмосферы. Такие напряжения исчезают, если устранить причину их возникновения: снять нагрузку, ликвидировать перепад температур и т. п.

Остаточные напряжения в стекле образуются следующим путем: если нагреть стекло до верхней границы зоны отжига, то все напряжения в нем исчезают в течение 15 мин. При медленном охлаждении такого стекла вследствие малой его теплопроводности устанавливается постоянный перепад температур по толщине (внешние слои стекла более холодные, чем внутренние). В процессе выравнивания температуры стекла по толщине при температурах, близких к температуре окружающей среды, в нем возникают остаточные напряжения: внутрен-

ние слои по мере охлаждения стремятся уменьшить свой объем, однако этому мешают ранее остывшие наружные слои стекла. Если остаточные напряжения превышают предел прочности стеклянного изделия, то изделие разрушается даже при комнатной температуре. Наличие остаточных напряжений в стекле затрудняет его термическую обработку.

Остаточные напряжения постепенно выравниваются по всему сечению образца. При этом, чем меньше температура стекла, тем длительнее процесс выравнивания остаточных напряжений. Особенно важно получить равномерное распределение остаточных напряжений в изделиях из стекла, которое зависит от формы детали, от перепада температур по высоте изделия при отжиге и других факторов. Изделия с равномерно распределенными остаточными напряжениями имеют высокую механическую прочность. Для уменьшения уровня остаточных напряжений необходимо обеспечить такое медленное охлаждение после выдержки его при температуре отжига, чтобы перепад температур между внутренними и наружными слоями был незначителен.

Напряжения, вызванные различием в КТР спаиваемых материалов, не устраняются путем отжига. Наоборот, отжиг часто приводит к возрастанию напряжений в этих спаях.

Таким образом, отжиг применяют только для снятия остаточных напряжений в стекле и спаях стекла с различными материалами.

Режим отжига стекла зависит прежде всего от его КТР. Так, кварцевое стекло с КТР, равным $5,8 \cdot 10^{-7}$, практически может не отжигаться, так как в нем почти не возникает остаточных напряжений. Для легкоплавких стекол с КТР от $55 \cdot 10^{-7}$ до $120 \cdot 10^{-7}$ правильный подбор режима отжига особенно важен. Кроме величины КТР, на выбор режима отжига стекла влияют: толщина изделия, величина допустимых остаточных напряжений в изделии, размер партии изделий, вид оборудования для отжига и т. п.

Типовая схема отжига цилиндрических стеклянных трубочек представлена на рис. 18. На этой схеме выделить четыре характерные зоны: А, Б, В и Г.

А — зона нагрева изделия со скоростью

$$C_n = \frac{0,3}{a^2} \Delta t, \quad (2)$$

где Δt — термостойкость стекла, °С, a — толщина стенки трубки, см, C_n — скорость нагрева, град/мин;

Б — зона выдержки при температуре отжига в течение времени

$$t_a = 10 + 10a^2, \text{ мин}; \quad (3)$$

В — зона охлаждения в зоне отжига со скоростью

$$C_{o1} = \frac{0,075}{a^2} \Delta t, \quad (4)$$

где C_{o1} — скорость охлаждения, град/мин; Г — зона охлаждения вне зоны отжига со скоростью

$$C_{o2} = \frac{0,15}{a^2} \Delta t, \quad (5)$$

где C_{o2} — скорость охлаждения, град/мин.

Отжигаемое изделие нагревают сначала до температуры отжига и выдерживают при этой температуре некоторое время t_a до полного снятия остаточных напряжений (обычно не более 15 мин). Затем изделие подвергают ступенчатому охлаждению: в зоне отжига скорость охлаждения C_{o1} должна быть такой, чтобы исключить возможность появления новых напряжений (очень медленное охлаждение). Вне зоны отжига скорость охлаждения (C_{o2}) значительно больше.

Выбор режимов для спаев более сложен, чем для стекол, так как в процессе отжига спаев могут возрасти напряжения, вызванные различием в КТР спаиваемых материалов. При установлении режимов отжига спаев стремятся к тому, чтобы максимальные напряжения, возникающие в спае при отжиге, не превышали его механической прочности.

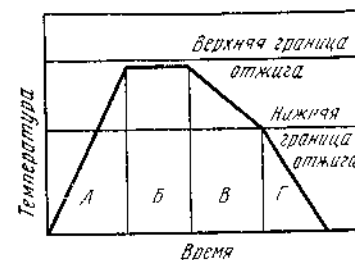


Рис. 18. Схема отжига цилиндрических стеклянных трубочек

§ 12. СТЕКЛОДУВНЫЕ РАБОТЫ

Рабочее место стеклодува

При производстве стеклодувных работ важное значение имеет правильная организация рабочего места. От выбора оборудования, правильного подбора и расположения на рабочем месте инструмента зависят производительность труда, качество работы и безопасность выполнения операций стеклодувом.

Горючие газы и сжатый воздух подводят к рабочему месту от заводских газовых магистралей (за исключением кислорода).

Кислород, используемый для создания газокислородного пламени (например, водороднокислородного) при обработке кварцевого стекла и других тугоплавких стекол, подается к рабочему месту от специального баллона с помощью резинового шланга, выдерживающего давление до 5 ат. Баллон с кислородом обычно устанавливают и закрепляют в отдельном изолированном помещении.

На рабочем месте стеклодува должны находиться инструменты и приспособления для резки стекла: развертки; хватки для удержания крупных деталей в разогретом состоянии; щипцы и пинцеты для обжата и сплющивания размягченного стекла; разъемные формы для выдувания большого числа однотипных изделий; деревянные канавки для утолщения стенок стеклянных изделий и придания им формы; асбестовые колпачки и муфели для медленного охлаждения обработанных изделий; измерительные инструменты для контроля размеров заготовок и изделий; муфельная электропечь для отжига крупных и сложных изделий; катки или ролики для вращения крупных изделий; шарнирный тройник для двустороннего поддува воздуха в изделие; отражатель пламени газовой горелки для создания более высокой температуры в зоне обработки стекла; набор вольфрамовых игл для прокалывания отверстий и формования углублений или выпуклостей в размягченном стекле; банка с раствором поваренной соли и помазком для «солки» пламени газовой горелки при появлении признаков кристаллизации стекла; наждачный камень для заточки и правки ножей; металлический ящик для отходов.

Зажигание и гашение газовой горелки

Чтобы зажечь стеклодувную горелку, сначала открывают на ней полностью кран воздуха. Затем при закрытом кране на воздуховоде открывают поочередно кран на газопроводе и кран газа на горелке и зажигают газ, поднеся к соплу горелки зажженную спичку. При этом газ вспыхивает широким коптящим пламенем. После этого уменьшают доступ газа, поворачивая кран газа на горелке, и плавным поворотом крана на воздуховоде устанавливают нормальное дутье. Факел горелки приобретает вытянутый вид, не пригодный для проведения стеклодувных работ. Необходимое рабочее пламя (острый факел без признаков копоти) устанавливают путем поочередного регулирования кранов воздуха и газа на горелке. В процессе регулирования пламени горелки следует опасаться отрыва пламени от сопла (при излишнем дутье) и проскока пламени внутрь горелки. При проскоке пламени необходимо немедленно закрыть кран газа на горелке и через 1—2 мин вновь зажечь ее.

Гашение пламени газовой горелки производится в обратной последовательности: сначала закрывают кран на воздуховоде, а затем кран на газопроводе. Через некоторое время, когда остаток газа, находящийся в шланге и корпусе горелки, сгорит, горелка погаснет. После этого закрывают краны воздуха и газа на горелке.

§ 13. СПАИ С КВАРЦЕВЫМ СТЕКЛОМ

В зависимости от вида использованного сырья кварцевые стекла подразделяются на три группы: 1) прозрачное кварцевое стекло; 2) непрозрачное кварцевое стекло (выплавляется из кварцевого песка); 3) кварцевое стекло из искусственного кремнезема.

По сравнению с обычными стеклами кварцевые стекла отличаются стабильностью физико-химических свойств при высоких температурах, высокой термостойкостью и химической устойчивостью, а также хорошими диэлектрическими и оптическими свойствами.

Стабильность физико-химических свойств при высоких температурах обусловлена тем, что кварцевое стекло не содержит примесей, разрыхляющих его структуру. Однако максимальная рабочая температура для

этого стекла не превышает 1000°C , так как длительная обработка его при температуре порядка 1200°C приводит к кристаллизации. В результате кристаллизации прозрачное кварцевое стекло приобретает молочный цвет.

Несмотря на низкое значение КТР кварцевого стекла ($5,8 \cdot 10^{-7}$), можно получить согласованные спай. Для этого применяют переходные стекла с постепенно изменяющимися значениями КТР. Число переходных стекол в таком спае обычно не менее пяти.

Согласованные спай молибденовых и вольфрамовых стержней с кварцевым стеклом можно осуществить с помощью следующей серии переходных стекол:

кварц-П5-П7-П2-П3-П15 (пирекс) — вольфрам

кварц-П5-П7-П2-П3-П15 — № 123 — молибден

Составы и основные свойства приведенных серий переходных стекол представлены в табл. 5.

Таблица 5
Составы и свойства переходных стекол

Стекла	Состав стекла, %, от массы						КТР $\cdot 10^7$	Температура размягчения, $^{\circ}\text{C}$
	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	CaO	K_2O	Na_2O		
Кварц	99,8	—	0,1	0,1	—	—	5,8	1500
П5	89,0	8,5	2,0	—	—	0,5	15,1	885
П7	89,5	9,75	0,25	—	—	0,5	18,7	743
П2	88,0	10,0	—	—	—	2,0	24,3	675
П3	83,0	11,5	2,0	—	1,0	2,5	29,1	615
П15	78,5	15,0	2,0	—	1,0	3,0	33,4	575
№ 123	77,5	14,0	1,5	—	1,5	5,5	42,0	598

Спай с переходными стеклами дороги, имеют сравнительно большую длину и недостаточно надежны при больших тепловых нагрузках. Помимо согласованных спаев, при помощи переходных стекол могут быть получены и несогласованные спай: ленточные с W, Mo и Ta, бусиновые с W и Mo и окошечные.

Контрольные вопросы

1. Какие физико-химические свойства технических стекол определяют их пригодность для изготовления деталей ЭВП? Охарактеризуйте значение коэффициента $T_{\text{к-100}}$.

2. По каким признакам классифицируются технические стекла? Что такое термостойкость стекла и как она измеряется?

3. Что такое «короткие» и «длинные» стекла? Перечислите основные группы технических стекол отечественного производства.

4. Какие дефекты могут возникнуть при изготовлении спаев стекла — стекло и стекло — металл? Что такое согласованные и несогласованные спай?

5. В чем заключается подготовка сплавляемых материалов? Назовите основные конструктивные разновидности спаев.

6. С какой целью проводится отжиг стекол и спаев? Охарактеризуйте основные виды напряжений, возникающих в стеклах и спаих.

7. Как должно быть организовано рабочее место стеклодува? Каков порядок зажигания и гашения стеклодувной горелки?

Глава IV. ЗАКОНЫ И ПОНЯТИЯ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ

Вакуумная техника — это наука, изучающая теоретические основы получения и измерения вакуума, а также основы расчета и конструирования вакуумных систем. Большинство законов и понятий вакуумной техники базируется на представлениях молекулярно-кинетической теории газов.

§ 14. ПОНЯТИЯ «ГАЗ» И «ПАР»

Существующие в природе вещества состоят из мельчайших частиц — молекул, которые, в свою очередь, состоят из более мелких частиц — атомов. *Молекула* — это наименьшая частица вещества, которая может существовать самостоятельно и обладает при этом всеми свойствами данного вещества.

Молекулы любого вещества находятся в непрерывном хаотическом движении и связаны между собой силами сцепления. От величины сил сцепления молекул зависит состояние вещества: твердое, жидкое или газообразное.

В твердых веществах молекулы совершают колебательные движения, в жидкостях они движутся поступательно, непрерывно меняя направление движения, а в газообразных веществах молекулы перемещаются свободно в любых направлениях и занимают весь предоставленный им объем.

Газообразные вещества в зависимости от температуры могут быть газом или паром. Если температура газообразного вещества выше критической, то это вещество является газом. Критические температуры некоторых газообразных веществ приведены ниже.

Азот	—147,0° С
Водород	—241,0° С
Вода	+365,0° С
Воздух	—140° С
Кислород	—118° С
Углекислый газ	+31,0° С

Из приведенных данных следует, что при комнатной температуре (+20° С) только вода и углекислый газ являются парами, а все остальные вещества — газами.

§ 15. ДАВЛЕНИЕ ГАЗОВ И ПАРОВ

Непрерывное хаотическое движение молекул зависит от температуры вещества и называется поэтому тепловым. Теория, изучающая тепловое движение молекул, называется кинетической. Согласно кинетической теории молекулы газообразного вещества, помещенные в замкнутый сосуд, будут оказывать определенное давление на его стенки. Усилие, которое вследствие теплового движения молекул газа сообщается в течение одной секунды одному квадратному сантиметру стенки сосуда, называется давлением газа. Давление газа P пропорционально числу молекул в единице объема N и скорости теплового движения молекул v .

$$P = \frac{1}{3} N m v^2, \quad (6)$$

где m — масса молекулы газа.

Кроме величины давления в сосуде часто необходимо знать число ударов молекул газа в единицу времени, приходящихся на единицу поверхности сосуда A .

$$A = \frac{N v}{4}, \quad (7)$$

где N — число молекул газа в единице объема, v — скорость теплового движения молекул газа.

Формула (7) позволяет подсчитать время, в течение которого при определенном значении давления первоначально чистая поверхность сосуда покроется одномолекулярным (мономолекулярным) слоем газа.

Скорости теплового движения молекул

Молекулы газа в замкнутом сосуде движутся с большими скоростями и непрерывно сталкиваются как между собой, так и со стенками сосуда. При каждом соударении молекул будет изменяться скорость их теплового движения и по величине, и по направлению. Скорости всех молекул в данном объеме подчиняются закону распределения Максвелла, на основе которого вычисляются средние скорости теплового движения молекул газа.

Давление пара

Если в замкнутый сосуд поместить источник пара, то в нем будет одновременно происходить два процесса: испарение и конденсация. Со временем в сосуде наступит состояние равновесия, когда количество испаряющихся молекул равно числу вновь конденсирующихся. При этом в сосуде устанавливается равновесное давление пара над источником, которое называется давлением насыщенного пара (или упругостью пара) и для данного вещества зависит только от температуры. Значения давлений насыщенных паров некоторых веществ при комнатной температуре (+20° С) приведены ниже.

Вода	2,327 · 10 ³ Па (17,5 мм рт. ст.)
Масла для диффузионных насосов	10 ⁻³ —10 ⁻⁸ Па (10 ⁻⁵ —10 ⁻¹⁰ мм рт. ст.)
Масла для механических вакуумных насосов	1,33—10 ⁻³ Па (10 ⁻² —10 ⁻⁵ мм рт. ст.)
Ртуть	1,596 · 10 ⁻¹ Па (1,2 · 10 ⁻³ мм рт. ст.)

Единицы давления

Единицей давления в международной системе единиц СИ (система интернациональная) служит Ньютон на квадратный метр (Н/м²), который принято называть Паскаль (Па) 1 Па = 1 Н/м².

Таблица 6

Соотношение единиц давления

Наименование единиц давления	мм рт. ст. (Тор)	бар	Па (Н/м²)	атм	ат	Дж/см²	кал/см²
мм рт. ст. (Тор)	1	1333,22	133,3	$1,31 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$3,18 \cdot 10^{-5}$
бар	$0,75 \cdot 10^{-3}$	1	0,1	$0,99 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$0,239 \cdot 10^{-7}$
Па (Н/м²)	$0,75 \cdot 10^{-3}$	10	1	$0,99 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2,39 \cdot 10^{-7}$
атм (физическая)	760	$1,01 \cdot 10^6$	$1,01 \cdot 10^5$	1	1,03	0,1014	0,0241
ат (техническая)	735,56	$0,981 \cdot 10^6$	$0,983 \cdot 10^5$	0,97	1	0,0981	0,0234
Дж/см²	7490	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^6$	9,86	10,2	1	0,239
кал/см²	31,4 · 10³	$5,19 \cdot 10^7$	$4,19 \cdot 10^6$	41,3	42,7	4,19	1

Основные константы в системе СИ выражаются в м, кг, с, градусах Кельвина (К) и амперах (А).

В вакуумной технике большое распространение до настоящего времени имела внесистемная единица давления — 1 мм рт. ст. (миллиметр ртутного столба), соответствующая давлению столбика ртути плотностью $13,59 \text{ г/см}^3$ и высотой 1 мм при ускорении силы тяжести $g = 980,655 \text{ см/с}^2$. 1 мм рт. ст. = 133,322 Па. Соотношения между различными единицами давления приведены в табл. 6.

§ 16. ПОНЯТИЕ О ВАКУУМЕ

Под *вакуумом* в технике понимают такое состояние газа, при котором его давление ниже атмосферного. Величина вакуума в каком-либо сосуде определяется как разность между атмосферным и абсолютным давлением газа в этом сосуде. Поскольку в вакуумной технике чаще всего имеют дело с очень низкими абсолютными давлениями, при которых величина вакуума практически равна величине атмосферного давления, то для оценки степени разрежения газов в сосуде пользуются величиной абсолютного давления, а словом «вакуум» характеризуют лишь состояние разреженных газов. О

состоянии разреженных газов судят по характеру столкновений молекул газа в сосуде.

Средняя длина свободного пути молекул

Как известно, тепловое движение молекул газа сопровождается не только ударами о стенки сосуда (создание давления), но и их взаимными столкновениями. В результате столкновений путь молекул в пространстве при тепловом движении представляет собой ломаную кривую, прямолинейные участки которой соответствуют перемещению молекулы без соударений с другими молекулами. Путь, пролетаемый молекулой газа между очередными соударениями, не может быть одинаковым из-за хаотичности теплового движения молекул. Поэтому вводится понятие о среднем пути между двумя очередными столкновениями или средней длине свободного пути молекул газа λ :

$$\lambda = \frac{kT}{0,1\sqrt{2} \pi P \sigma^2}, \quad (8)$$

где λ в см; k — молекулярная газовая постоянная, равная $1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/град; T — абсолютная температура, К; P — давление газа, Па; σ — эффективный диаметр молекул газа, см.

Для воздуха при 20° С формула (8) принимает вид:

$$\lambda = \frac{3,76 \cdot 10^{-5}}{P}, \quad (9)$$

где P в Па.

Из формулы (8) следует, что величина λ прямо пропорциональна абсолютной температуре газа T и обратно пропорциональна его давлению P . Следовательно, по мере удаления газа из сосуда (уменьшения давления) величина λ будет возрастать. При этом может наступить такой момент, когда взаимные столкновения молекул практически прекратятся, а будут происходить лишь столкновения их со стенками сосуда. От вида столкновений молекул газа в сосуде зависят многие свойства разреженных газов.

Чтобы определить вид столкновений молекул газа и заранее предсказать поведение газа в сосуде, необхо-

димо оценить соотношение между величиной среднего свободного пути молекул и характерным размером сосуда d . Для сосудов цилиндрической и шаровой формы d — это диаметр, а для сосудов прямоугольной формы — длина меньшей стороны прямоугольника.

Высокий и низкий вакуум

В зависимости от соотношения между λ и d различают следующие состояния разреженного газа:

1. Высокий вакуум, когда λ значительно больше d .

$$\lambda \gg d.$$

2. Средний вакуум, когда λ примерно равна d .

$$\lambda \simeq d.$$

3. Низкий вакуум, когда λ значительно меньше характерного размера сосуда d .

$$\lambda \ll d.$$

Из приведенных соотношений следует, что чем больше характерный размер сосуда d , тем меньшее давление необходимо создать, чтобы сохранить в нем заданное состояние разреженного газа.

Таблица 7

Характеристика различных состояний разреженного газа

Характеристика	Вакуум			
	низкий	средний	высокий	сверхвысокий
Диапазон давлений, Па	$1,01 \cdot 10^5 - 1,33 \cdot 10^2$	$1,33 \cdot 10^2 - 10^{-1}$	$10^{-1} - 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-12}$
Число молекул газа в 1 см^3 объема сосуда при 0°C	$10^{19} - 10^{16}$	$10^{16} - 10^{11}$	$10^{13} - 10^9$	$10^9 - 10^2$
Средняя длина свободного пути молекул воздуха при 20°C , см	$10^{-6} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10$	$10 - 10^4$	$10^4 - 10^{11}$
Время образования мономолекулярного слоя газов на чистой поверхности	Мгновенно	Мгновенно	Секунды	Минуты и десятки минут

4. Сверхвысокий вакуум, когда λ существенно больше, чем при высоком вакууме. Характерной особенностью сверхвысокого вакуума является меньшее число молекул газа в единице объема, что приводит к значительному увеличению времени образования мономолекулярного слоя газа на чистой поверхности сосуда. Некоторые характеристики различных состояний разреженного газа приведены в табл. 7.

§ 17. ПОВЕДЕНИЕ ГАЗА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО И ВЫСОКОГО ВАКУУМА

Рассмотрим поведение газов в условиях низкого и высокого вакуума на примере следующих процессов: теплового движения молекул газа, взаимной диффузии газов и скорости испарения вещества.

Тепловое движение молекул газа

В условиях низкого вакуума число молекул газа в единице объема велико и путь молекулы при тепловом движении представляет собой ломаную пространственную кривую вследствие большого количества столкновений с другими молекулами. При взаимном столкновении молекулы изменяют скорости и направления движения по закону упругого соударения. Молекулы газа, ударившись о стенку сосуда, адсорбируются на ней и удерживаются там как бы в сконденсированном состоянии.

Адсорбция — это процесс поглощения газов или паров поверхностью твердого тела с образованием на ней пленки толщиной в одну или несколько молекул. Наибольшей адсорбционной способностью обладают пористые тела, так как они имеют большую площадь поверхности. Адсорбционная способность зависит также от вида вещества. Адсорбированные молекулы газа непрерывно испаряются со стенки сосуда, но вследствие малой длины свободного пробега λ сразу сталкиваются с другими молекулами газа, причем молекулы, получившие в результате столкновения направления на стенку, вновь адсорбируются.

Таким образом, в условиях низкого вакуума на стенках сосуда непрерывно поддерживается слой адсорбированных молекул газа.

Число молекул газа в единице объема в условиях высокого вакуума значительно меньше, чем при низком вакууме, и путь молекулы при тепловом движении представляет собой прямую линию, так как взаимные столкновения между молекулами практически отсутствуют. В результате этого часть стенки сосуда может быть свободна от слоя адсорбированных молекул газа.

При столкновении со стенкой сосуда молекула газа удерживается на ней некоторое время, а затем отлетает в случайном направлении, подчиняясь закону диффузионного отражения.

Взаимная диффузия газов

Взаимной диффузией называется явление проникновения одного газа в другой при их соприкосновении. Если поместить в сосуд с непроницаемой перегородкой

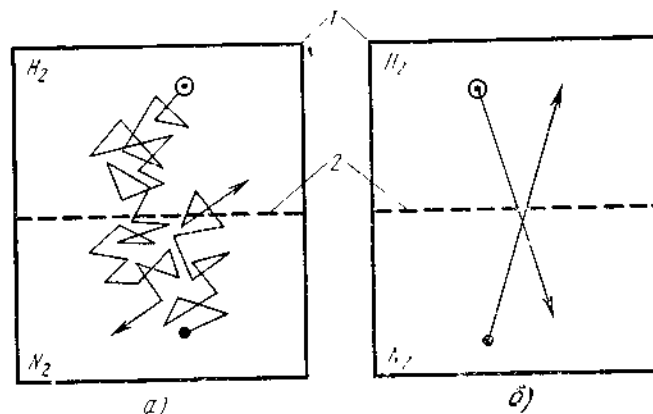


Рис. 19. Взаимная диффузия газов в условиях низкого (а) и высокого (б) вакуума:
1 — вакуумные объемы, 2 — условные перегородки

два различных газа (например, азот и водород), а затем убрать перегородку, то вследствие теплового движения молекулы этих газов будут проникать друг в друга, образуя смесь с одинаковой концентрацией молекул обоих газов во всем объеме сосуда. Скорость процесса диффузии зависит от давления и температуры газа в сосуде, а также от природы газа. Наибольшей скоростью диффузии при прочих равных условиях об-

ладают легкие газы (водород, гелий и т. п.). Высокая скорость диффузии гелия используется при контроле герметичности изделий с помощью различных типов течеискателей.

В условиях низкого вакуума взаимная диффузия газов после удаления непроницаемой перегородки (рис. 19, а) будет происходить медленно из-за большого числа взаимных столкновений молекул.

Взаимная диффузия газов в условиях высокого вакуума происходит практически мгновенно после удаления непроницаемой перегородки, так как взаимные столкновения молекул практически отсутствуют (рис. 19, б). В объеме сосуда эти газы ведут себя независимо друг от друга.

На явлении взаимной диффузии газов в условиях высокого вакуума основана работа диффузионных вакуумных насосов, в которых молекулы газа из откачиваемого объекта диффундируют в струю пара рабочей жидкости.

Скорость испарения вещества

Скорость испарения источника пара в сосуде и поток молекул (или атомов) пара зависят от состояния разреженного газа в этом сосуде.

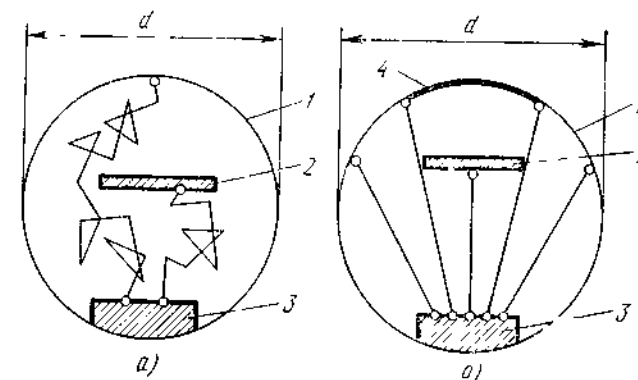


Рис. 20 Скорость испарения источника пара в условиях низкого (а) и высокого (б) вакуума:
1 — вакуумный объем, 2 — экран, 3 — источник пара, 4 — молекулярная «тень»

Средняя длина свободного пути молекул газа λ в условиях низкого вакуума мала, и путь молекулы пара представляет собой сложную пространственную кривую. Любая молекула пара может сконденсироваться в любом месте стенки сосуда или экрана. Скорость испарения источника пара при этом мала (рис. 20, а).

В условиях высокого вакуума путь молекулы пара представляет собой прямую линию, так как столкновения молекул пара с молекулами газа практически отсутствуют (рис. 20, б). Присутствие экрана в сосуде $\emptyset d$ дает молекулярную тень (участок стенки сосуда, не покрытый сконденсированными молекулами пара). Скорость испарения при данной температуре источника пара максимальна. На принципе испарения вещества в условиях высокого вакуума основан способ нанесения металлических и неметаллических пленок на поверхности.

§ 18. ОСНОВНЫЕ ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

Для описания процессов, происходящих в разреженных газах, используются законы, установленные для идеальных газов. *Идеальным* считается газ, у которого молекулы можно представить в виде упругих материальных частиц (шариков), взаимодействие между молекулами ограничивается только упругими соударениями, а пространство, занимаемое молекулами, очень незначительно по сравнению с пространством, свободным от молекул.

Всякий *реальный* газ отличается от идеального тем, что он имеет определенные силы сцепления между молекулами, а молекулы занимают вполне определенный объем. Однако при низких давлениях реальные газы могут рассматриваться как идеальные, так как силы сцепления между молекулами газа намного меньше объема, в котором эти молекулы движутся (объем сосуда).

Уравнение состояния идеальных газов

Состояние разреженного газа определяется тремя параметрами: давлением P , объемом v и температурой T . Формула, устанавливающая соотношение между этими

параметрами, называется уравнением состояния идеальных газов:

$$Pv = \frac{nm}{M} RT, \quad (10)$$

где n — число молекул газа; m — масса одной молекулы; M — масса одной грамм-молекулы; R — газовая постоянная.

Грамм-молекула — это количество вещества, выраженное в граммах, численно равное молекулярному весу этого вещества. Например, для кислорода (O_2) $M = 32$ г, для азота (N_2) $M = 28$ г и т. д.

Для одной грамм-молекулы газа уравнение состояния идеального газа принимает вид:

$$Pv = RT, \quad (11)$$

так как $\frac{nm}{M}$ — число грамм-молекул (или молей) газа и равно 1.

Уравнение состояния идеальных газов может быть представлено также в виде

$$Pv = nkT \quad (12)$$

где k — молекулярная газовая постоянная или постоянная Больцмана;

$$k = \frac{R}{N_a}, \quad (13)$$

где R — газовая постоянная; N_a — число Авогадро (число молекул в одной грамм-молекуле газа);

$N_a = \frac{M}{m} = 6,02 \cdot 10^{23}$ 1/моль — величина, постоянная для

всех газов.

Кроме того, уравнение состояния идеальных газов может быть представлено в виде:

для одного моля газа

$$Pv_0 = R_0 T \quad (14)$$

или

для «а» молей газа

$$Pv = aR_0 T, \quad (15)$$

$$av_0 = v, \quad (16)$$

где v_0 — молярный объем — это объем, занимаемый одним молем любого газа при нормальных условиях. $v_0 = 22,4$ л/моль — величина, постоянная для всех газов, R_0 — универсальная газовая постоянная,

$$R_0 = MR. \quad (17)$$

Нормальными считаются такие условия, при которых давление $P = 1,01 \cdot 10^5$ Па, а температура $T = 273$ К (0°C).

Газовые законы

Основные газовые законы выводятся из уравнения состояния идеальных газов

Закон Бойля — Мариотта. При постоянной массе $G = nm$ и температуре T газа произведение давления газа P на его объем v есть величина постоянная.

$$Pv = \text{const}. \quad (18)$$

Если постоянной остается только температура, то уравнение (18) принимает вид:

$$Pv = \text{const} \cdot nm. \quad (19)$$

Из уравнения (19) следует, что при постоянной температуре количество газа nm определяется произведением его давления на объем Pv . Поэтому на практике количество газа выражается в Pv единицах: Па·м³, Па·л, Па·см³. Отсюда следует также, что при постоянной температуре давление прямо пропорционально плотности газа ρ

$$P = \text{const} \cdot \rho, \quad (20)$$

где $\rho = \frac{nm}{v}$ — плотность газа.

Закон Гей-Люссака. При постоянной массе nm и давлении P объем газа v прямо пропорционален его температуре T .

$$v = \text{const} \cdot T. \quad (21)$$

Если постоянными будут масса и объем газа, то давление газа прямо пропорционально его температуре.

$$P = \text{const} \cdot T. \quad (22)$$

Закон Авогадро. В одинаковых объемах разных газов при равных значениях температуры и давления содержится одинаковое число молекул

$$N_a = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}.$$

В одном кубическом сантиметре любого газа при нормальных условиях содержится одинаковое число молекул (число Лошмидта n_a):

$$n_a = \frac{N_a}{v_{уд} M} = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{22,4 \cdot 10^{-3}} = 2,687 \cdot 10^{19} \text{ 1/см}^3, \quad (23)$$

где $v_{уд}$ — удельный объем газа при нормальных условиях

$$v_{уд} = \frac{22,4}{M}, \quad (24)$$

Закон Дальтона. Если в сосуде находится смесь идеальных газов, то давление газовой смеси $P_{см}$ равно сумме парциальных давлений газов, входящих в смесь:

$$P_{см} = P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (25)$$

Парциальным давлением газа, входящего в смесь, называется такое давление, которое имел бы этот газ, если бы он занимал весь ее объем.

Состав газовой смеси может задаваться в массовых g_i или объемных r_i долях.

$$g_i = \frac{G_i}{G_{см}}, \quad (26)$$

где G_i — масса данного компонента смеси, $G_{см}$ — масса смеси.

$$r_i = \frac{v_i}{v_{см}}, \quad (27)$$

где v_i — парциальный объем данного компонента смеси, $v_{см}$ — суммарный объем смеси.

Применимость газовых законов к парам

Для ненасыщенных паров справедливы все законы идеальных газов, а для насыщенных паров — лишь законы Авогадро и Дальтона, которые не связаны с изменением параметров состояния (P, v, T).

Давление насыщенного пара можно изменить только путем изменения температуры. При этом зависимость

давления от температуры будет более значительной, чем по закону Бойля — Мариотта из-за одновременного изменения массы пара.

Если источник пара испарится полностью, то пар перестает быть насыщенным и подчиняется законам Бойля — Мариотта и Гей-Люссака.

§ 19. ПРОЦЕСС ОТКАЧКИ И ЕГО ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Общие сведения

Процесс удаления газов из какого-либо герметичного объема с помощью вакуумных насосов называется *откачкой*. Совокупность элементов (трубопроводы, насосы, краны и т. п.), используемых при откачке газа из герме-

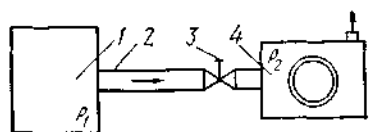


Рис. 21. Схема простейшей вакуумной установки:
1 — откачиваемый объем, 2 — вакуумопровод, 3 — вакуумный кран, 4 — вакуумный насос

тичного объема, называется *вакуумной системой*. Схема простейшей вакуумной системы представлена на рис. 21.

До включения вакуумного насоса давление P во всех элементах вакуумной системы одинаково и равно атмосферному. После включения вакуумного насоса газы из откачиваемого объема начинают перемещаться в сторону насоса. Это обусловлено способностью вакуумного насоса выбрасывать находящийся в нем газ в окружающую атмосферу. На место выброшенной порции газа из трубопровода вследствие теплового движения поступает новая порция газа. Если вакуумная система не имеет течи, то процесс откачки будет сопровождаться непрерывным уменьшением количества газа в откачиваемом объеме. По закону Бойля — Мариотта уменьшение количества газа ведет к понижению его давления в вакуумной системе, так как объем v и температура T постоянны. Однако вследствие сопротивления, оказываемого элементами системы перемещению молекул газа, понижение давления в вакуумной системе будет неравномерным. У входа в насос давление P_2 будет понижаться быстрее, чем в откачиваемом объеме P_1 . В результате

этого на концах трубопровода, соединяющего откачиваемый объем с вакуумным насосом, создается разность давлений $P_1 - P_2$.

Процесс откачки газов из любого объема характеризуется следующими параметрами: потоком газа, быстротой откачки, сопротивлением или пропускной способностью трубопровода, временем откачки.

Для определения основных понятий процесса откачки воспользуемся стационарным процессом откачки.

Стационарный процесс откачки вакуумной системы характеризуется тем, что давление в любой точке системы остается неизменным во времени, а уменьшение количества газа в системе в процессе откачки компенсируется натеканием извне или газоотделением внутренних поверхностей самой системы.

В реальных условиях чаще всего приходится иметь дело с нестационарным процессом откачки, когда давление в любой точке системы изменяется во времени. В этом случае пользуются понятием о квазистационарном процессе откачки, который характеризуется тем, что процесс откачки, нестационарный для всей вакуумной системы в целом, для отдельных ее частей мало отличается от стационарного.

Поток газа

Количество газа, проходящее в единицу времени через поперечное сечение трубопровода, называется *потоком газа* Q .

Поток газа выражается в единицах

$$\frac{Pv}{c}; \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{c}; \frac{\text{Па} \cdot \text{л}}{c}; \frac{\text{Па} \cdot \text{см}^3}{c}.$$

Быстрота откачки

В связи с различием в быстроте понижения давления в откачиваемом объеме P_1 и у входа в насос P_2 вводится понятие о быстроте откачки объекта S_o и быстроте откачивающего действия насоса S_n .

Быстротой откачки объекта S_o называется объем газа, поступающий в единицу времени из откачиваемого объема в трубопровод при давлении P_1 в откачиваемом объеме. Размерность S_o — л/с. Связь между потоком

газа и быстротой откачки определяется условием неразрывности потока.

Поток газа в любом сечении вакуумной системы постоянен и равен произведению давления P на скорость откачки S_v в данном сечении.

$$Q = P_i S_i = \text{const.} \quad (28)$$

Для сечения у выпускного патрубка вакуумного насоса уравнение (28) примет вид:

$$Q = P_2 S_n, \quad (29)$$

откуда

$$S_n = \frac{Q}{P_2}. \quad (30)$$

Формулу (30) можно применить к любому сечению вакуумной системы, рассматривая данное сечение как насос для предшествующих сечений

$$S_i = \frac{Q}{P_i}, \quad (31)$$

где S_i и P_i — быстрота откачки и давление в рассматриваемом сечении вакуумной системы.

Сопротивление и пропускная способность трубопровода

Любой элемент вакуумной системы оказывает сопротивление прохождению потока газа.

Сопротивлением W элемента вакуумной системы называется падение давления на этом элементе, приходящееся на единицу потока газа.

$$W = \frac{P_1 - P_2}{Q}, \quad (32)$$

где P_1 и P_2 — давления на концах элемента вакуумной системы.

В вакуумной технике чаще пользуются понятием о пропускной способности U — величине, обратной сопротивлению элемента вакуумной системы.

Пропускной способностью U элемента вакуумной системы называется поток газа через этот элемент, приходящийся на единицу падения давления на элементе.

$$U = \frac{1}{W} = \frac{Q}{P_1 - P_2}. \quad (33)$$

Размерность пропускной способности: л/с; см³/с и т. п.

Формулы (32) и (33) аналогичны соотношениям, выведенным для закона Ома в электротехнике. Эта аналогия справедлива лишь при соблюдении условия неразрывности потока

$$P_1 S_o = U (P_1 - P_2) = P_2 S_n = Q. \quad (34)$$

Исходя из соотношений, выведенных для закона Ома, можно написать уравнения для определения суммарного сопротивления или суммарной пропускной способности всех элементов вакуумной системы, соединенных параллельно или последовательно:

$$W_{\text{посл.}} = \Sigma W_i; \quad (35)$$

$$\frac{1}{W_{\text{парал.}}} = \Sigma \frac{1}{W_i}; \quad (36)$$

$$\frac{1}{U_{\text{посл.}}} = \Sigma \frac{1}{U_i}; \quad (37)$$

$$U_{\text{парал.}} = \Sigma U_i; \quad (38)$$

где $W_{\text{посл}}$ и $U_{\text{посл}}$ — суммарное сопротивление и суммарная пропускная способность элементов, соединенных последовательно; $W_{\text{парал}}$ и $U_{\text{парал}}$ — суммарное сопротивление и суммарная пропускная способность элементов, соединенных параллельно; W_i и U_i — сопротивление и пропускная способность отдельного элемента.

Основное уравнение вакуумной техники

Для реальной вакуумной системы наибольший интерес представляет величина быстроты откачки объекта S_o , которая на практике чаще называется эффективной скоростью откачки S_s .

$$S_o = S_s.$$

Эффективная скорость откачки S_s — это такая скорость, с которой насос, обладающий быстротой откачивающего действия S_n , откачивает заданный объем через элементы вакуумной системы с суммарной пропускной способностью U . Соотношение между S_s , S_n и U выводится из условия неразрывности потока Q и называется *основным уравнением вакуумной техники*.

Путем преобразования уравнения вида

$$Q = S_n P_2 = S_s P_1 = U (P_1 - P_2)$$

можно получить следующие выражения для основного уравнения вакуумной техники:

$$\frac{1}{S_0} = \frac{1}{S_n} + \frac{1}{U}, \quad (39)$$

или

$$S_0 = \frac{U}{1 + \frac{U}{S_n}}. \quad (40)$$

Анализируя уравнение (40), можно сделать ряд практических выводов:

1) эффективная скорость откачки S_0 , как правило, меньше S_n . Эти скорости равны только при бесконечно большой пропускной способности соединительного трубопровода системы, что возможно лишь в случае непосредственного подсоединения вакуумного насоса к откачиваемому объему;

2) если суммарная проводимость U значительно меньше величины S_n ($U \ll S_n$), то эффективная скорость откачки S_0 будет определяться величиной U , т. е. $S_0 \approx U$.

В данном случае увеличить значение S_0 путем применения вакуумных насосов с большей быстротой откачивающего действия практически невозможно. Этого можно добиться только путем увеличения суммарной проводимости соединительного трубопровода.

Практические расчеты, проводимые с помощью основного уравнения вакуумной техники для стационарного процесса откачки, сводятся либо к определению геометрических размеров элементов вакуумной системы, обеспечивающих создание определенных давлений в рассматриваемых сечениях системы, либо к определению давлений, устанавливающихся в рассматриваемых сечениях вакуумной системы при заданных геометрических размерах элементов системы.

Аналогичные расчеты проводятся и для квазистационарного процесса откачки, для которого в каждый момент времени соблюдается условие неразрывности потока:

$$Q = S_1 P_1 = U (P_1 - P_2).$$

Время откачки

Время, в течение которого в вакуумной системе будет достигнуто заданное давление газа, определяется следующей формулой

$$t = 2,3 \frac{v}{S_0} \ln \frac{P_1}{P}, \quad (41)$$

где t — время, необходимое для понижения давления в откачиваемом объеме v от P_1 до P при данной эффективной скорости откачки S_0 .

Уравнением (41) пользуются только в том случае, когда давление в вакуумной системе значительно больше предельного.

Предельным давлением P_0 называется наименьшее давление, которое может быть достигнуто в вакуумной системе.

Величину S_0 в уравнении (41) определяют как среднееарифметическое значение за рассматриваемый промежуток времени, так как в процессе изменения давления в системе, как правило, изменяется и величина S_0 .

При давлениях, близких к предельному, уравнение времени откачки принимает вид:

$$t = 2,3 \frac{v}{S_0} \lg \frac{P_1}{P - P_0}. \quad (42)$$

Для приближенных расчетов времени откачки вакуумной системы от $1,01 \cdot 10^5$ до 133 Па можно пользоваться следующей формулой

$$t \approx 8 \frac{v}{S_n}, \quad (43)$$

где S_n — скорость откачивающего действия вакуумного насоса с масляным уплотнением.

§ 20. РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ ГАЗОВ

При конструировании вакуумных систем, а также при практических расчетах на действующих вакуумных установках необходимо достаточно точно определять величину пропускной способности трубопроводов. Для этого, кроме геометрических размеров трубопровода и рода откачиваемого газа, нужно знать режим течения газа по трубопроводу, который зависит в основном от состояния разреженного газа.

В процессе откачки вакуумной системы от атмосферного давления до высокого вакуума различают три основных режима течения газа: 1) турбулентный, 2) вязкостный, 3) молекулярный.

Кроме того, существуют переходные режимы течения газа: турбулентно-вязкостный и молекулярно-вязкостный.

Турбулентный и турбулентно-вязкостный режимы течения газа наблюдаются при давлениях, близких к атмосферному, и поэтому в вакуумной технике не имеют большого практического значения.

Вязкостный режим течения газа характерен для условий низкого вакуума, когда $\lambda \ll d$. При этом поток газа разделяется на параллельные слои, скользящие один по другому с различными скоростями. Вследствие разности скоростей между слоями газа возникает трение. Слои газа, прилегающие к стенкам трубопровода, неподвижны, и шероховатость стенок практически не влияет на величину потока газа через трубопровод.

Молекулярный режим течения газа наблюдается в условиях высокого вакуума, когда $\lambda \gg d$. При этом в трубопроводе существует два противоположно направленных потока газа, а результирующий поток пропорционален разности давлений $P_1 - P_2$ на концах трубопровода.

Молекулярно-вязкостный режим течения газа устанавливается в условиях, близких к среднему вакууму, когда $\lambda \approx d$.

Для определения режима течения газа в трубопроводе при практических расчетах пользуются различными критериями.

Переход от вязкостного режима течения газа к молекулярному определяется произведением среднего давления в трубопроводе $P_{\text{ср}}$ на его диаметр d . При этом если:

$P_{\text{ср}} d > 66,5 \text{ Па} \cdot \text{см}$, то поток газа вязкостный;

$P_{\text{ср}} d < 2 \text{ Па} \cdot \text{см}$, то поток газа молекулярный.

При промежуточных значениях произведения $P_{\text{ср}} d$ поток газа молекулярно-вязкостный.

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2}{2}, \quad (44)$$

где P_1 и P_2 — давления на концах трубопровода.

Произведение $P_{\text{ср}} d$ можно выразить и через среднюю длину свободного пути молекул газа.

Известно, что для воздуха при 20°C

$$\lambda = \frac{3,76 \cdot 10^{-5}}{P}, \text{ где } P \text{ в Па, а } \lambda \text{ в см.}$$

Учитывая это, получим:

$\lambda \leq 5,8 \cdot 10^{-2} d$ — поток газа вязкостный;

$\lambda \geq 1,88 d$ — поток газа молекулярный.

Для промежуточных значений λ поток газа молекулярно-вязкостный.

Все приведенные выше соотношения для определения режима течения газа в трубопроводе справедливы только для трубопроводов круглого сечения. Однако они могут быть использованы и для трубопроводов других геометрических форм, если параметр d рассматривать как наименьший линейный размер поперечного сечения.

§ 21. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДИАФРАГМ И ТРУБОПРОВОДОВ

Пропускная способность элементов реальной вакуумной системы обычно складывается из пропускной способности трубопроводов различной длины и поперечного сечения, и пропускной способности отверстий — диафрагм (рис. 22).

Идеальной диафрагмой называется отверстие в стенке, толщина которой несоизмеримо мала по сравнению с диаметром отверстия, а площадь несоизмеримо велика по сравнению с площадью отверстия. Идеальные диафрагмы в вакуумных системах встречаются редко, так как площадь отверстия, как правило, соизмерима с площадью стенки.

Пропускная способность реальной диафрагмы U_d рассчитывается по формуле:

$$U_x = U_n \frac{1}{1 - \frac{F}{F_0}}, \quad (45)$$

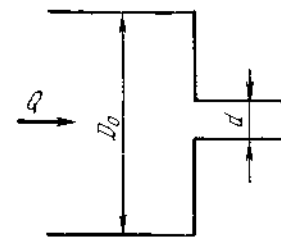


Рис. 22. Схема диафрагмы реальной вакуумной установки

где U_n — пропускная способность идеальной диафрагмы; F — площадь отверстия диаметром d ; F_0 — площадь сечения трубопровода диаметром D_0 .

Вязкостный режим

Пропускная способность идеальной диафрагмы для воздуха при комнатной температуре ($+20^\circ\text{C}$) зависит от соотношения давления P_2/P_1 и определяется по формуле

$$U_n \approx 20F, [\text{л/с}], \quad (46)$$

где F — площадь отверстия диафрагмы, см^2 .

Пропускная способность трубопровода $U_{\text{тр}}$ круглого сечения для воздуха при $+20^\circ\text{C}$ определяется по формуле

$$U_{\text{тр}} = 23,9 \frac{d^4}{L} P_{\text{ср}}, [\text{л/с}], \quad (47)$$

где d — диаметр трубопровода, см; L — длина трубопровода, см; $P_{\text{ср}}$ — среднее давление в трубопроводе, Па.

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2}{2}.$$

Формула (47) справедлива для длинных трубопроводов ($L \geq 20d$). При расчете проводимости короткого ($L < 20d$) трубопровода $U_{\text{к.тр}}$ необходимо учитывать проводимость входной диафрагмы по формуле

$$\frac{1}{U_{\text{к.тр}}} = \frac{1}{U_{\text{тр}}} + \frac{1}{U_n}.$$

Если через трубопровод круглого сечения производится откачка другого газа, то его пропускная способность по данному газу U_r определяется из соотношения

$$U_r = U_{\text{возд}} \sqrt{\frac{M_{\text{возд}}}{M_r} \cdot \frac{\lambda_{\text{возд}}}{\lambda_r}}, \quad (48)$$

где $M_{\text{возд}}$ — молекулярный вес воздуха ($M_{\text{возд}} = 29$); M_r — молекулярный вес данного газа; λ_r и $\lambda_{\text{возд}}$ — средняя длина свободного пути молекул данного газа и воздуха при единичном давлении; $U_{\text{возд}}$ — пропускная способность трубопровода по воздуху, рассчитанная по формуле (47).

Например,

$$U_{\text{H}_2} = 2,1 U_{\text{возд}};$$

$$U_{\text{H}_2\text{O}} = 1,9 U_{\text{возд}};$$

$$U_{\text{N}_2} = 1,4 U_{\text{возд}} \text{ и т. д.}$$

Из формулы (47) следует, что пропускная способность трубопровода при вязкостном режиме течения газа зависит от среднего давления в трубопроводе.

Молекулярный режим

Пропускная способность идеальной диафрагмы U_n определяется по формуле

$$U_n = \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} F, \quad (49)$$

где k — молекулярная газовая постоянная; T — абсолютная температура газа; m — масса молекулы газа; F — площадь отверстия диафрагмы.

Для воздуха при $+20^\circ\text{C}$ формула (49) принимает вид:

$$U_n = 11,6F. \quad (50)$$

Пропускная способность круглого трубопровода $U_{\text{тр}}$ рассчитывается по формуле

$$U_{\text{тр}} = 3,8 \sqrt{\frac{T}{M}} \cdot \frac{d^3}{L}, \quad (51)$$

где T — абсолютная температура, К; M — молекулярный вес газа; d — диаметр трубопровода, см; L — длина трубопровода, см.

Для воздуха при 20°C формула (51) принимает вид:

$$U_{\text{тр}} = 12,1 \frac{d^3}{L}. \quad (52)$$

Формулы (51 и 52) справедливы для длинных трубопроводов ($L \geq 20d$). Если трубопровод короткий ($L < 20d$), то при расчете его проводимости $U_{\text{к.тр}}$ должна учитываться проводимость входной диафрагмы:

$$\frac{1}{U_{\text{к.тр}}} = \frac{1}{U_{\text{тр}}} + \frac{1}{U_n}.$$

Проводимость входной диафрагмы может быть учтена приближенно увеличением длины L трубопровода в формулах (51 и 52) на $1,33d$. Тогда

$$U_{к.п.} = 12,1 \frac{d^3}{L + 1,33d} . \quad (53)$$

Анализ уравнений (49) и (52) показывает, что при молекулярном режиме течения газа пропускная способность диафрагмы и трубопровода не зависит от давления.

Зная пропускную способность диафрагмы и трубопровода по воздуху ($U_{возд}$), можно определить их пропускную способность по другим газам (U_g) из соотношения:

$$U_g = U_{возд} \sqrt{\frac{M_{возд}}{M_g}} , \quad (54)$$

где $M_{возд}$ и M_g — молекулярные веса воздуха и данного газа.

На пропускную способность трубопровода при молекулярном режиме течения газа оказывает влияние наличие изгибов и колен на трубопроводе. Влияние излома трубопровода учитывается прибавлением к длине L $1,33d$ на каждое колено или изгиб.

$$U_{тп} = 12,1 \frac{d^3}{L + 1,33d} . \quad (55)$$

Молекулярно-вязкостный режим

Расчет пропускной способности трубопровода в условиях молекулярно-вязкостного режима течения газа $U_{мв}$ можно проводить по формуле

$$U_{мв} = 12,1 \frac{d^3}{L} K , \quad (56)$$

где K — коэффициент, зависящий от произведения диаметра трубопровода d [см] на среднее давление в нем $P_{ср}$ [Па].

Для значений $d \cdot P_{ср}$ от 1,33 до 79,8 коэффициент K изменяется от 1 до 9,9.

Некоторые замечания по расчету пропускной способности трубопроводов

Пропускная способность трубопроводов прямоугольного сечения может быть рассчитана по уравнениям для трубопровода круглого сечения. Для этого необходимо сначала подобрать эквивалентную трубу круглого сечения. Существует два способа вычисления эквивалентного диаметра для трубопровода прямоугольного сечения:

1) по равенству площадей поперечного сечения

$$\frac{\pi d^2}{4} = ab , \quad (57)$$

где d — диаметр эквивалентного круглого трубопровода; a и b — стороны прямоугольного сечения трубопровода.

Из уравнения (57) находим d :

$$d = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}} ; \quad (58)$$

2) по равенству отношений учетверенной площади сечения к периметру B

$$\frac{4F_1}{B_1} = \frac{4F_2}{B_2} ; \quad \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{4\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)}{\pi d} , \quad (59)$$

где F_1 и F_2 — площади сечения прямоугольного и круглого трубопроводов; B_1 и B_2 — периметры сечения прямоугольного и круглого трубопроводов.

Из уравнения (59) находим d :

$$d = \frac{2ab}{a+b} . \quad (60)$$

При отношении $b/a \leq 3$ применяется первый способ, а при $b/a > 3$ — второй способ.

Контрольные вопросы

1. Как отличить газ от пара? Перечислите основные параметры, от которых зависит давление газа
2. Какие единицы давления вы знаете? Охарактеризуйте различные состояния разреженного газа.
3. Что такое упругость пара? Как влияет состояние разреженного газа на скорость испарения вещества?
4. Какие параметры состояния газа вы знаете? Назовите основные газовые законы.

5. На чем основан процесс откачки? Какими параметрами характеризуется процесс откачки?

6. Как определяются режимы течения газов в трубопроводах? На какие параметры процесса откачки влияет режим течения газа?

7. От каких параметров зависит пропускная способность диафрагмы и трубопровода? Как влияет пропускная способность на величину эффективной скорости откачки объекта?

Глава V. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

§ 22. ВАКУУММЕТРЫ-ИЗМЕРИТЕЛИ ДАВЛЕНИЙ

Выпускаемая отечественной промышленностью вакуумметрическая аппаратура предназначена для измерения давлений разреженных газов в лабораторных и заводских условиях. Диапазон давлений, измеряемых отечественными вакуумметрами, очень широк — от $1 \cdot 10^{-10}$ до $1,33 \cdot 10^{-11}$ Па и не может быть измерен одним прибором. Это обстоятельство, а также разнообразие эксплуатационных требований, предъявляемых к вакуумметрической аппаратуре, и определили необходимость разработки и промышленного выпуска большого количества типов вакуумметров.

Все выпускаемые вакуумметры состоят из измерительной установки (блок электропитания и измерения) и манометрического преобразователя (датчика), при помощи которого сигнал давления преобразовывается в электрический сигнал.

Показания вакуумметров зависят от рода газа, метрические характеристики приведены для сухого воздуха. При измерении других газов необходимо использовать указанные в справочной литературе переводные коэффициенты или проводить индивидуальную градуировку вакуумметра по рабочему газу.

Требования, предъявляемые к точности измерения низких давлений, в большинстве случаев невысоки. Иногда достаточно знать лишь порядок величины давления. Поэтому значительная часть изготавливаемых промышленностью вакуумметров является индикаторными при-

борами, погрешность измерения которых колеблется от 10 до 60% от измеряемой величины.

Автоматизация различных технологических процессов, естественно, отразилась на конструкциях вакуумметров. Многие из них могут служить датчиками автоматизированных систем, не только сигнализирующими о достижении или превышении определенного давления, но и управляющими различными автоматическими устройствами.

Вакуумметры, выполняющие роль датчиков в автоматизированных вакуумных системах, должны удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать измерение рабочего давления в широком интервале, иметь аналоговый выход на ЭВМ (в случае ее применения) и многоканальную блокировку; быть надежными в эксплуатации, иметь большой срок службы и возможность длительно непрерывно работать без каких-либо подстроек и т. д.

Блокировочные вакуумметры осуществляют управление (блокировку) по давлению при разрывной мощности в цепи своих контактов не более 50 Вт для цепей постоянного тока с индуктивной нагрузкой до 20 Гц и 500 Вт для цепей переменного тока (220 В, 50 Гц).

Большинство вакуумметров имеет электрический выход сигнала давления в систему автоматики или для записи показаний на электронном потенциометре. Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением $220 \text{ В} \pm 10\%$ и частотой 50 Гц.

Основные характеристики промышленных вакуумметров приведены в табл. 8.

Вакуумметр деформационный газоразрядный ВДГ-1

Вакуумметр предназначен для измерения давления воздуха и газовых смесей и рассчитан на эксплуатацию в промышленных условиях; состоит из измерительного блока и датчика. Датчик представляет собой вакуумную камеру с гибкой мембраной, разделяющей ее на две полости: рабочую, которая сообщается с объемом, в котором измеряется давление, и газоразрядную. Последняя заполнена инертным газом, в ней смонтирован механический датчик перемещения мембраны. Разряд горит между двумя анодами и общим катодом, соединенным с мембраной. Прогиб мембраны при изменении давления

приводит к перераспределению напряжений в обоих газоразрядных промежутках. Величиной, по которой определяют давление, является разность этих напряжений.

Измерительный блок обеспечивает питание датчика и измерение разрядного сигнала.

Показания вакуумметра не зависят от рода газа. Этим качеством отличается данный вакуумметр от других.

Вакуумметр ВТ-3

Вакуумметр предназначен для работы в лабораторных условиях. Действие прибора основано на зависимости теплопроводности газа от давления. Вакуумметр ВТ-3 (рис. 23) состоит из измерительной установки и

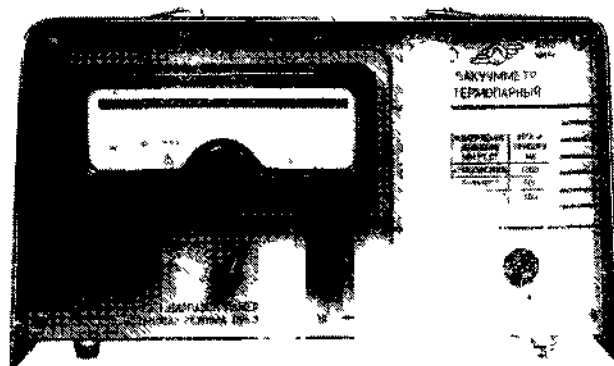


Рис. 23 Вакуумметр ВТ-3

одного из трех термопарных манометрических преобразователей: ПМТ-2 в стеклянном корпусе, ПМТ-4М в металлическом корпусе, МТ-8, выполненного на фланцевом основании с металлическим уплотнителем и предназначенного для эксплуатации на металлических прогреваемых вакуумных системах.

Рабочим элементом преобразователей является нагреваемая нить, к средней точке которой подсоединена термопара. В режиме постоянства тока накала нити (в диапазоне $1,33 \cdot 10^{-1}$ — $1,33 \cdot 10^1$ Па) давление опреде-

ляют по термо-э. д. с. термопары. Определение давления в режиме постоянства термо-э. д. с. (в диапазоне $1,33 \cdot 10^1$ — $6,675 \cdot 10^2$ Па) ведется по току накала нити и требует при каждом измерении коррекции термо-э. д. с.

Вакуумметры ВСБ-1 и ВТБ-1

Вакуумметры предназначены для контроля давлений разреженного газа в промышленных и лабораторных условиях. Действие их основано на зависимости теплопроводности газа от давления.

Вакуумметр ВСБ-1 (рис. 24) рассчитан на применение в автоматизированных вакуумных системах. Он состоит из измерительной установки и одного теплоэлек-

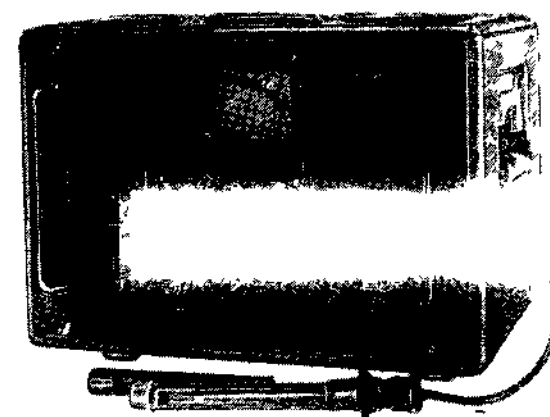


Рис. 24. Вакуумметр ВСБ-1

трического манометрического преобразователя МТ-6. Температура рабочей нити преобразователя МТ-6 (вольфрамовая проволока $\varnothing 10$ мкм) поддерживается во всем диапазоне давлений постоянной (220°C), сопротивление нити при этом 116,5 Ом. Величиной, по которой судят о давлении, является напряжение нагрева нити.

Вакуумметр ВТБ-1 (рис. 25), выпускаемый для стационарного монтажа, состоит из теплового вакуумного реле РВТ-1М, блока индикации БИ-3 и преобразователя МТ-6-3. Последний отличается от преобразователя МТ-6

тем, что у него более надежное соединение цоколя с измерительным блоком и применена платиновая нить, что позволяет использовать его в средах с повышенным содержанием влаги.

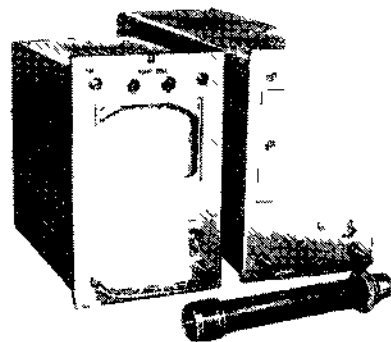


Рис. 25 Вакуумметр ВТБ-1 с преобразователем МТ-6-3

Блок индикации вакуумметра обеспечивает измерение, блокировку и запись давления по основному диапазону $1,33\text{—}3,99 \cdot 10^3$ Па и имеет два участка с большой чувствительностью на краях основного диапазона, что дает возможность дополнительно измерять давление в диапазоне $1,33 \cdot 10^{-1}\text{—}1,33 \cdot 10^1$ и $3,99 \cdot 10^3\text{—}1,01 \cdot 10^5$ Па.

Вакуумметр ВЭМБ-1

Вакуумметр ВЭМБ-1 (рис. 26) предназначен для контроля давления и блокировки в области среднего и высокого вакуума в металлических системах, откачиваемых масляными насосами. Вакуумметр работает с самоочищающимся преобразователем ММ-28. В прямоугольной камере преобразователя установлены два кольцевых электрода, на которые подается переменное напряжение.

Газовый разряд горит как между кольцевыми электродами преобразователя, так и между ними и корпусом. Газовый разряд поддерживается с помощью собственного магнитного поля преобразователя. Ток разряда зависит от давления газа. Изменение полярности электродов способствует их автоматическому очищению, осо-

бенно при измерении давлений ниже 10^{-1} Па. Вакуумметр имеет две шкалы давления $10^{-2}\text{—}1,33 \cdot 10^2$ Па и $10^{-3}\text{—}10^{-1}$ Па, а также релейный блок, обеспечивающий автоматическую сигнализацию о достижении двух заданных уровней давления в диапазоне $1,33 \cdot 10^{-2}\text{—}1,33 \times 10^2$ Па.

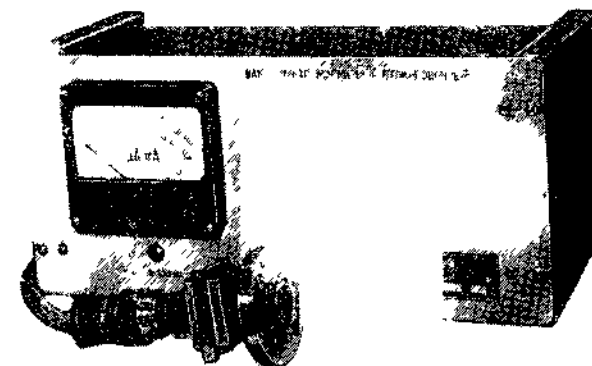


Рис. 26 Вакуумметр ВЭМБ-1 с преобразователем ММ-28

Вакуумметр ВМБ-3А

Магнитный электроразрядный блокировочный вакуумметр ВМБ-3А предназначен для измерения давления и автоматической сигнализации о достижении заданного давления в металлических вакуумных системах как в лабораторных, так и в производственных условиях.

Вакуумметр ВМБ-3А состоит из измерительной установки и магнитного электроразрядного манометрического преобразователя ММ-13М-4А, действие которого основано на зависимости величины разрядного тока от давления газа. Особенность преобразователя ММ-13М-4А — его разборная конструкция, которая дает возможность механическим и химическим способами чистить детали и корпус его при загрязнении.

Вакуумметр ВМБ-8

Вакуумметр ВМБ-8 предназначен для измерения давления в диапазоне $1,33\text{—}1,33 \cdot 10^{-7}$ Па (имея на вес

этот диапазон одну обзорную шкалу) и выдачи аналогового сигнала, пропорционального отсчету по шкале, и имеет двухточечную блокировку по двум независимым каналам

Вакуумметр работает с магнитным электроразрядным преобразователем ММ-32-1 инверсно-магнетронного типа разборной конструкции, допускающей периодическую профилактическую чистку. Разборка — сборка электродной системы проводится в течение 2—3 мин.

Вакуумметры ВИТ-2 и ВИТ-3

Ионизационно-термопарные вакуумметры ВИТ-2 и ВИТ-3 (рис 27) предназначены для измерения давления газов в промышленных и лабораторных условиях и пред-

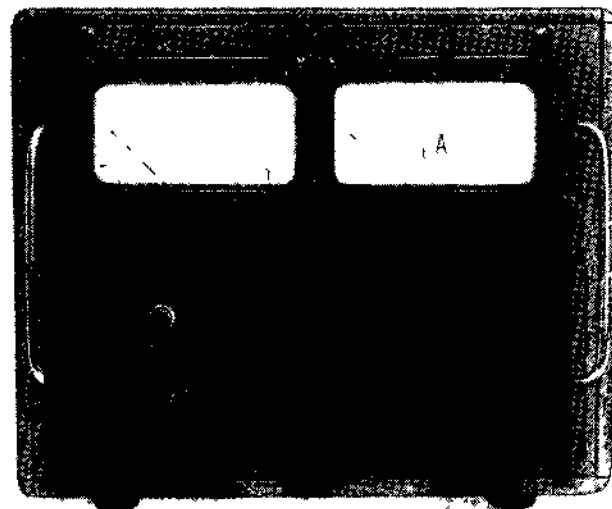


Рис 27 Вакуумметр ВИТ-2

ставляют собой комбинированные установки, состоящие из ионизационного и термопарного преобразователей и электронной схемы питания и измерения

Вакуумметр ВИТ-2 предназначен для измерения давления — $6,66 \cdot 10^{-6}$ — $2,66$ Па, а вакуумметр ВИТ-3 — $6,66 \cdot 10^{-6}$ — $1,33 \cdot 10^2$ Па. Вакуумметр ВИТ-2 в диапазоне

$1,33 \cdot 10^{-1}$ — $2,66 \cdot 10^1$ Па измеряет давление с помощью одного из термопарных преобразователей ПМТ-2, ПМТ-4М и ПМТ-8, а в диапазоне высокого вакуума — с помощью одного из ионизационных преобразователей ПМИ-2 и ЛМ-3-2.

Преобразователи ПМИ-2, МИ-10-2 и ЛМ-3-2 являются ионизационными преобразователями триодного типа. Их действие основано на ионизации газа электропаями, испускаемыми с накаливаемого катода. Образующиеся положительные ионы уходят на отрицательно заряженный коллектор. При постоянном токе эмиссии электронов и постоянном ускоряющем напряжении на аноде число образующихся ионов пропорционально молекулярной концентрации газа. Коллекторный ионный ток подается на вход усилителя вакуумметра; по ионному току судят о давлении.

Преобразователь ПМИ-2 представляет собой закрытую стеклянную конструкцию с V-образным вольфрамовым катодом.

Ионизационный преобразователь ЛМ-3-2 открытого типа является модификацией преобразователя ПМИ-2. Катод преобразователя — сменный, вместо вольфрамового катода в нем применен иридиевый воздухостойкий катод с покрытием из окиси иттрия. Благодаря высокой стойкости иридиевого катода к кислороду и другим химически активным веществам оба вакуумметра с преобразователем ЛМ-3-2 измеряют давление воздуха и других газов до $1,33$ Па.

Преобразователи ПМТ-2, ПМТ-4М, ПМИ-2, МИ-10-2 рекомендуется применять как на металлических, так и на стеклянных непрогреваемых вакуумных установках, преобразователи ЛМ-3-2 и МТ-8 — на металлических прогреваемых высоковакуумных установках.

Приборы комплектуют преобразователями МТ-8 и ЛМ-3-2 по специальному требованию. Преобразователь ЛМ-3-2 поставляется с десятью запасными катодами и десятью металлическими уплотнителями, преобразователь МТ-8 — с десятью уплотнителями.

Вакуумметр ВИ-12

Ионизационный вакуумметр ВИ-12 предназначен для измерения давления газов в диапазоне 10^{-3} — 10^{-8} Па преимущественно в лабораторных условиях. Он состоит

из переносной измерительной установки, снабженной выносным блоком, и одного из двух манометрических преобразователей: ИМ-12 в стеклянной колбе или МИ-12-8, выполненного на фланце с металлическим уплотнением. Он снабжен блокировкой, разрывающей цепь катода преобразователя при токе, превышающем в 1,5 раза максимальный ток установленного диапазона, что защищает катод от выхода из строя при повышении давления.

Вакуумметр ВИ-14

Вакуумметр ВИ-14 предназначен для измерения давления в диапазоне $13,3 \cdot 10^{-8}$ Па в металлических вакуумных системах; работает он с ионизационным преобразователем МИ-27; имеет подекадное переключение поддиапазонов и две обзорные шкалы с диапазонами 10^{-3} — $13,3$ и 10^{-8} — 10^{-3} Па. Для измерения давления в стеклянных системах и сверхвысоковакуумном диапазоне (10^{-3} — 10^{-8} Па) к вакуумметру можно подключать преобразователь ИМ-12, поставляемый по отдельным заказам.

Манометрический преобразователь МИ-27 открытого типа имеет съемные катоды, что обеспечивает их замену при выходе из строя. К преобразователю прилагается комплект запасных катодов.

Вакуумметры ВИМ-2 и ВИМ-2А

Инверсно-магнетронные вакуумметры ВИМ-2 и ВИМ-2А (рис. 28) служат для измерения давления газа в диапазоне $1,33 \cdot 10^{-2}$ — $1,33 \cdot 10^{-11}$ Па в металлических вакуумных установках.

Вакуумметр состоит из измерительной установки с выносным блоком и манометрического магнитно-электроразрядного преобразователя ММ-14М инверсно-магнетронного типа. Давление определяют по току газового разряда в преобразователе. Измерительная установка обеспечивает электропитание и измерение разрядного тока преобразователя.

Вакуумметр ВИМ-2 имеет линейную зависимость разрядного тока от давления. Блокировка в вакуумметре защищает выходной прибор и входной электрометрический каскад усилителя от перегрузок.

Манометрический преобразователь ММ-14М смонтирован в корпусе из нержавеющей стали и допускает про-

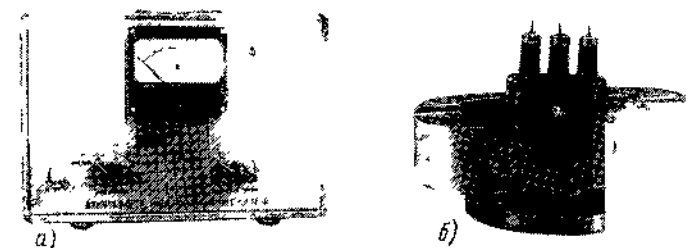


Рис. 28 Вакуумметр ВИМ-2 (а) и электроразрядный преобразователь ММ-14М (б)

грев в печи до 550°C . Вакуумметр обеспечивает прогрев электродной системы преобразователя электронной бомбардировкой.

Вакуумметр ВИМ-2А отличается от вакуумметра ВИМ-2 конструкцией корпуса, аналогичной вакуумметрам ВИТ-3 и ВИ-14.

Вакуумные реле РВТ-1М и РВМ-1М

Вакуумные реле РВТ-1М и РВМ-1М предназначены для управления технологическими процессами и защиты. Они состоят из блока питания (управления) и манометрического преобразователя. Вакуумные реле обеспечивают двухточечную (на верхний и нижний пределы) блокировку по двум независимым каналам. Приборов отсчета давления у реле нет, однако они имеют выход аналогового сигнала давления и при использовании вольтметра переменного тока (для РВТ-1М) или микроамперметра (для РВМ-1М) могут измерять давление.

Вакуумное реле РВТ-1М работает с преобразователем МТ-6.

Магнитное электроразрядное реле РВМ-1М работает с разборным магнитным электроразрядным преобразователем ММ-22, конструкция которого предусматривает возможность периодической чистки от загрязнений.

Таблица 8

Основные характеристики промышленных вакуумметров

1	Вакуумметр		Манометрический преобразователь				Рабочий диапазон, Па		Применение в качестве		Измерительное устройство	
	тип	наименование	тип	габариты, мм		высота, мм	измерения	блокировки	насто- ящего	насто- ящего	габариты, мм	Масса, кг
				4	5							
ВДГ-1		Деформационный газоразрядный	—	143	73	1,33—1,33·10 ⁴	—	—	+	60	195×340× ×380	10
ВТ-3		Термонарный	ПМТ-2	280	32	1,33·10 ⁻¹ — 6,66·10 ²	—	—	+	35	320×185× ×150	4,5
			ПМТ-4М	108	32	1,33·10 ⁻¹ —13,3	—	—				
			МТ-8	66	78	1,33·10 ⁻¹ —66,6	—	—				
ВСБ-1		Сопротивления блокировочные	МТ-6	175	20	1,33—3,99·10 ³	13,3—3,99·10 ³	—	+	140	390×260× ×240	14
ВТБ-1		Теплоэлектрический блокировочный	МТ-6-3	140	24	1,33·10 ⁻¹ — 1,013·10 ³	1,33—3,99·10 ³	—	+	60	100×158× ×160	2

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВЭМБ-1	Электро-разряд- ный магнитный блокировочный	ММ-28	100	80	1,33·10 ⁻³ —1,33·10 ²	3,99·10 ⁻² —1,33·10 ²	+	—	110	245×178× ×310	7
ВМБ-3	Магнитный бло- кировочный	ММ-13М- -4А	205	80	2,66·10 ⁻⁵ —1,33	6,66·10 ⁻⁴ —1,33	+	+	—	390×290× ×240	19
ВМБ-8	Магнитный бло- кировочный	ММ-32-1	85	90	10 ⁻⁷ —1,33	—	—	+	35	240×158× ×335	7,5
ВИТ-2	Ионизационно- термонарный	ПМТ-2 ПМТ-4М МТ-8	280 108 66	32 32 78	1,33·10 ⁻¹ —13,3 1,33·10 ⁻¹ —13,3 1,33·10 ⁻¹ —66,6	—	+	+	35	320×280× ×215	10
ВИТ-3	Ионизационно- термонарный	ПМИ-2 ЛМ-3-2	280 130	32 90	1,33·10 ⁻¹ —10 ⁻⁵ 1,33—10 ⁻⁵	—	—	+	75	230×360× ×485	15
		ПМТ-2 ПМТ-4М	280 108	32 32	1,33·10 ⁻¹ —13,3 1,33·10 ⁻¹ —13,3	—	+	+	—	—	—
		МТ-8 МИ-10-2	66 60	78 20	1,33·10 ⁻¹ —66,6 10 ⁻³ —1,33·10 ²	—	—	—	—	—	—
ВИ-12	Ионизационный	ПМИ-2 ЛМ-3-2	280 130	32 90	10 ⁻⁵ —10 ⁻¹ 10 ⁻⁵ —1,33	—	—	+	280	448×340× ×287	30
		ИМ-И12 МИ-12-8	190 150	90 90	10 ⁻⁸ —10 ⁻³ 10 ⁻⁸ —10 ⁻³	—	—	+	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВИ-14	Ионизационный	МИ-27	130	90	10^{-8} — $13,3$	—	+	+	140	$480 \times 226 \times 360$	20
ВИМ-2	Инверсно-магнетронный	ИМ-102	190	90	10^{-8} — 10^{-3}	—	+	+	120	$386 \times 278 \times 292$	22
ВИМ-2А	Инверсно-магнетронный	ММ-14М	142	92	10^{-11} — 10^{-2}	—	+	+	120	$480 \times 225 \times 320$	17,5
РВТ-1М	Реле вакуумное тепловое	МТ-6	175	20	—	$1,33$ — $3,99 \cdot 10^3$	—	+	20	$100 \times 158 \times 319$	4
РВМ-1М	Реле вакуумное магнитное электро-разрядное	ММ-22	80	90	—	10^{-4} — $1,33$	—	+	20	$100 \times 158 \times 319$	4

§ 23. МАСС-СПЕКТРОМЕТРЫ

В вакуумной технике масс-спектрометры предназначены для измерения парциальных давлений, т. е. качественного и количественного анализов остаточных газов в высоковакуумных системах, исследования кинетики процессов газовой выделения из различных веществ, исследования влияния остаточных газов на работу электровакуумных приборов, обнаружения течей в вакуумных системах, изучения процессов сорбции, десорбции, диффузии, поверхностных реакций (что особенно важно для контроля процесса напыления тонких пленок), исследования селективности откачки при получении сверхвысокого вакуума и т. п.

Принцип действия приборов основан на разделении газов по их массам с последующим измерением ионного тока по данному газу на коллекторе.

Измеритель парциальных давлений омегатронный ИПО-2

Омегатронный измеритель парциальных давлений ИПО-2 работает в высоком и сверхвысоком вакууме.

Прибор ИПО-2 выпускается вместо устаревшей модели ИПО-1, имеет большую чувствительность, расширенный диапазон масс, повышенную разрешающую способность, а также быстрое действие, позволяющее наблюдать спектр масс на экране электронно-лучевой трубки.

Прибор ИПО-2 состоит из измерительного блока, омегатрона РМО-4С, магнитно-юстировочного устройства и электронного потенциометра со стойкой.

Омегатрон — малогабаритный радиочастотный резонансный масс-спектрометр, принципиальная схема которого показана на рис. 29.

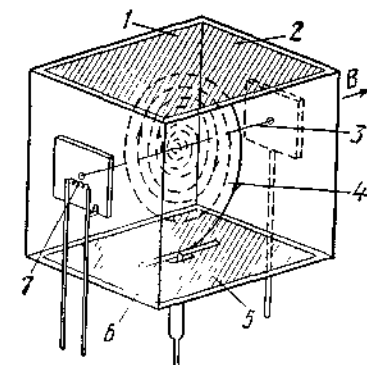


Рис. 29. Принципиальная схема устройства омегатрона:

1 — высокочастотная пластина, 2 — анализатор ионов, 3 — электронный луч, 4 — траектория резонансных ионов, 5 — заземленная пластина, 6 — коллектор ионов, 7 — катод; B — направление магнитного поля

Молекулы находящегося в омегатроне газа ионизируются в тонком электронном луче, проходящем вдоль оси анализатора и фокусирующемся магнитным полем. Под действием магнитного поля B и перпендикулярного к нему ВЧ-электрического поля образовавшиеся ионы вращаются вокруг оси анализатора. Ионы, для которых частота вращения в данном магнитном поле совпадает с частотой приложенного ВЧ-напряжения, ускоряются ВЧ-полем и, двигаясь по раскручивающейся спирали, достигают коллектора ионов. Величина ионного тока в цепи коллектора является мерой парциального давления газа.

Резонансная частота связана с массой иона соотношением

$$f = \frac{qB}{2\pi m}, \quad (61)$$

где B — индукция магнитного поля, m — масса иона, q — заряд иона. Развертка спектра масс осуществляется изменением частоты ВЧ-напряжения.

Прибором ИПДО-2 измеряют парциальные давления легких газов с точностью ± 10 отн. %. Для обеспечения нормальной работы омегатрон должен обезгаживаться прогревом в электрической печи при 400°C . Электродную систему омегатрона рекомендуется прогревать токами высокой частоты при 800°C . Загрязнение омегатрона парами органических веществ нарушает нормальную работу, вплоть до полной потери чувствительности и разрешения.

Техническая характеристика ИПДО-2

Наибольшее рабочее давление, Па	$1,33 \cdot 10^{-3}$
Наименьшее регистрируемое парциальное давление, Па	$1,33 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-11}$
Диапазон регистрируемых масс, а. е. м.	1—250

Развертка спектра масс осуществляется вручную или автоматически; время развертки 2, 16, 100 с. Имеется возможность развертки 20% шкалы на любом участке диапазона масс.

Состав остаточных газов и количественная оценка отдельных компонентов определяются с помощью стрелочного прибора, осциллографа и самопишущего потенциометра.

Квадрупольный масс-спектрометр КМ-1

Разделение ионов по массам в квадрупольном масс-спектрометре КМ-1 происходит в ВЧ-квадрупольном электрическом поле, создаваемом между четырьмя па-

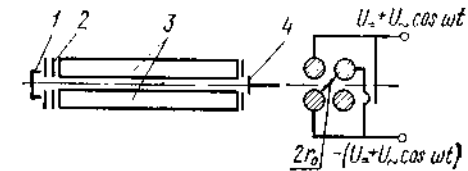


Рис. 30. Принципиальная схема квадрупольного масс-спектрометра:

1 — источник ионов, 2 — входная диафрагма, 3 — стержни анализатора, 4 — приемник ионов

раллельными стержнями круглого сечения. Стержни электрически попарно соединены и на них подается напряжение (рис. 30).

$$U = \pm (U_+ + U_- \cos \omega t);$$

$$\frac{U_+}{U_-} = \lambda = \text{const.}$$

Ионы, образующиеся в ионном источнике электронной бомбардировкой, направляются в квадрупольный анализатор и, проходя вдоль него, совершают колебания под действием ВЧ-поля. Амплитуда колебаний ионов зависит от удельной массы иона и величины напряжения на стержнях. При определенных параметрах квадруполя через анализатор могут пройти ионы только одной массы, амплитуда колебаний которых меньше радиуса поля. Амплитуда колебаний ионов всех других масс при этом неограниченно нарастает, и они теряют заряд, ударяясь о стержни. Развертка спектра масс осуществляется изменением напряжений на стержнях анализатора, при этом отношение постоянной составляющей напряжения к амплитуде ВЧ-составляющей остается неизменным. Шкала масс квадрупольного масс-спектрометра линейная. Разрешающая способность возрастает с массой иона таким образом, что диапазон разрешаемых масс остается постоянным $\Delta M \leq 1$. Приемником ионов служит

обычно вторичный электронный умножитель, обеспечивающий высокую чувствительность и быстродействие прибора.

В комплект прибора КМ-1 входят датчик, выносной блок, измерительная установка и осциллограф С1-19.

Техническая характеристика КМ-1

Максимальное рабочее давление, Па	1,33—10 ⁻³
Чувствительность по аргону при скорости регистрации спектра масс 60 а. е. м/с, Па	6,66·10 ⁻⁸
Диапазон анализируемых масс, а. е. м.	2—150
Скорость регистрации спектра масс, а. е. м/с	60, 300, 1000

Монополярный масс-спектрометр МХ-7301

По принципу действия монополярный масс-спектрометр — один из вариантов прибора с разделением ионов по массам в ВЧ-квадрупольном поле.

Монополярный масс-спектрометр МХ-7301 — малогабаритный переносный прибор. Он состоит из двух взаимозаменяемых датчиков, измерительного блока и самопишущего потенциометра.

Техническая характеристика

Диапазон измерения по массовым числам, а. е. м:	
рабочий режим	1—100
обзорный режим	2—200
Разрешающая способность по полувысоте пика	
$\frac{M}{\Delta M} = 2M; \Delta M - 1,2$ а. е. м.	

Масс-спектрометр двухлучевой МСД-1

Масс-спектрометр МСД-1 состоит из трех частей: анализатора (датчика), измерительного устройства УИМС-1 и предварительного усилителя, соединенных между собой кабелями.

Прибор МСД-1 представляет собой секторный магнитный масс-спектрометр с двухлучевой системой реги-

страции ионных токов. Ионы в диапазоне масс 2—11 а.е.м. (возможно 2—32 а.е.м.) отклоняются в магнитном поле по радиусу 2 см на угол 135° и регистрируются в цепи первого коллектора; ионы в диапазоне масс 12—150 а.е.м.— по радиусу 5 см на угол 90° и регистрируются в цепи второго коллектора. Индукция магнитного поля в межполюсном зазоре 0,3 Тл (3000 Гс). Коллекторами ионных токов служат вторичные электронные умножители типа ВЭУ-1. Ионный источник с электронной ионизацией состоит из камеры ионизации, катода и трех диафрагм, служащих для фокусировки ионного луча.

Процесс измерений масс-спектрометром МСД-1 автоматизирован. Развертка спектра масс осуществляется изменением ускоряющего напряжения (энергии ионов) по экспоненциальному закону. Запуск развертки спектра масс производится по команде от ЭВМ или вручную. Ионный ток на выходе масс-спектрометра преобразуется в аналоговый сигнал 0—10 В. Спектр масс регистрируется ЭВМ и может наблюдаться на экране осциллографа (в комплект прибора МСД-1 осциллограф не входит).

Датчик масс-спектрометра присоединяется к вакуумной установке при помощи стандартного манометрического фланца Ду-50. Время непрерывной работы масс-спектрометра без профилактического обслуживания не менее 500 ч.

Техническая характеристика

Диапазон рабочих давлений, Па	1,33—10 ⁻² —2,66·10 ⁻⁸
Диапазон масс, а. е. м	2—150
Разрешающая способность (по полувысоте пика)	80

§ 24. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ

Наиболее широкое применение нашли электроизмерительные приборы следующих систем:

магнитоэлектрической — для измерения постоянного тока;

электромагнитной — для измерения постоянного и переменного токов;

электродинамической — для измерения постоянного и переменного токов;

ферродинамической — для измерения постоянного и переменного токов;

индукционной — для измерения переменного тока.

Согласно Государственному общесоюзному стандарту приборы непосредственной оценки по степени точности измерения делятся на семь классов: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

Измерение тока

Приборы в зависимости от величины измеряемых токов называются *микроамперметрами, миллиамперметрами, амперметрами, килоамперметрами*. Приборы для измерения токов меньше $1 \cdot 10^{-6}$ А называются *гальванометрами*.

Угол отклонения показывающей стрелки амперметра зависит от тока в его измерительном механизме, этот ток должен проходить через амперметр, поэтому амперметр включается последовательно с участком цепи или потребителем.

Чтобы включение амперметра не вызывало изменения в режиме работы цепи, его сопротивление должно быть малым по сравнению с сопротивлением данного участка цепи.

Когда необходимо измерить токи больше номинального для данного типа прибора, в цепях постоянного тока применяют шунты, а в цепях переменного тока — измерительные трансформаторы, включаемые параллельно измеряемому прибору. Заводы отечественной промышленности изготавливают щитовые амперметры на номинальные токи до 300 А.

Измерение напряжения

Приборы в зависимости от величины измеряемого напряжения называются *милливольтметрами, вольтметрами* или *киловольтметрами*.

Угол отклонения показывающей стрелки вольтметра зависит от напряжения, приложенного к его зажимам, поэтому вольтметры соединяются параллельно генератору или потребителю.

Чтобы включение вольтметра не вызывало изменения в режиме работы измеряемой цепи, его сопротивление должно быть большим по сравнению с сопротивлением того участка цепи, параллельно которому он включается.

Для исключения влияния температуры обмотки измерительного механизма на точность показания прибора и для расширения предела измерения вольтметров последовательно с измерительным механизмом включают добавочное сопротивление. При измерении высоких напряжений в цепях переменного тока применяют измерительные трансформаторы напряжения.

§ 25. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Неотъемлемой частью вакуумно-термического оборудования являются приборы для измерения температуры и устройства, позволяющие вручную или автоматически регулировать тепловой режим в ходе технологического процесса.

Приборы для измерения температуры подразделяются на показывающие и самопишущие, а устройства для регулирования температуры — на регулирующие самопишущие, сигнализирующие и регулирующие показывающие. Иногда один прибор сочетает в себе устройства для измерения и регулирования температуры.

По принципу работы приборы для измерения температуры можно разделить на жидкостные, манометрические, термометры сопротивления, оптические пирометры и др.

Жидкостные термометры (обычные ртутные) применяют для измерения температуры от -200 до $+500^{\circ}\text{C}$. Принцип действия их основан на тепловом расширении жидкости в стеклянной оболочке.

Манометрические термометры служат для измерения температуры жидких и газовых сред в интервале температур от -60 до $+550^{\circ}\text{C}$. Принцип действия этих приборов основан на свойстве веществ, заключенных в замкнутом объеме, изменять свое давление в зависимости от температуры. Замкнутая система манометрического термометра состоит из термобаллона, манометрической пружины и соединительного капилляра. Изменение дав-

ления в термобаллоне по капилляру передается на манометрическую пружину; деформация пружины вызывает отклонение связанной с ней стрелки показывающих приборов. Одновременно под воздействием системы рычагов может замыкаться контактная система у сигнализирующих приборов.

Оптические пирометры предназначены для измерения температур от $+600$ до $+2500^{\circ}\text{C}$. Принцип их действия основан на сопоставлении яркости излучения измеряемого тела с яркостью излучения нити пирометра. Яркость излучения нити регулируется изменением тока накала, который фиксируется на шкале прибора. При совмещении яркости нити и измеряемого тела нить «исчезает».

Термоэлектрические пирометры применяют для измерения температур от -200 до $+1600^{\circ}\text{C}$. Принцип их работы основан на измерении чувствительным милливольтметром величины термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.), возникающей в цепи термопары при ее нагревании. Термопары представляют собой два отрезка проволоки, концы которых с одной стороны сварены. Наибольшее распространение нашли термопары из следующих пар материалов: платинородий — платина (группа ПП) при измерении температур от 0 до 1600°C ; хромель — алюмель (группа ХА) при измерении температур от 0 до $+1100^{\circ}\text{C}$; хромель — копель (группа ХК) при измерении температур от -200 до $+600^{\circ}\text{C}$.

Спаянные концы термопар плотно прикрепляются к телу изделия, температуру которого необходимо замерить. Свободные концы термопар через электроизоляционные вводы выводят наружу технологической камеры и соединяют с концами измерительного прибора.

В качестве измерительных приборов наибольшее применение нашли потенциометры автоматические самопишущие и регулирующие с ленточной диаграммой. Потенциометры типа Пср-1 имеют регулирующее устройство и одновременно с измерением и записью производят автоматическое регулирование указанных величин в одной из точек объекта.

Контрольные вопросы

1 Назовите основные типы приборов для измерения общих давлений. На каком принципе основано их действие?

2 Какими приборами измеряются парциальные давления. Принцип действия омегатрона?

3 Какими приборами измеряются токи и напряжения в электрических устройствах?

4. Какие приборы применяют для измерения температуры.

Глава VI. УСТРОЙСТВО ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Для создания требуемой степени разрежения в экспериментальных и промышленных вакуумных установках применяют самые разнообразные вакуумные насосы. Одним из первых вакуумных насосов был поршневой насос Герике, построенный им в 1650 г. Дальнейшее развитие устройств для получения вакуума связано с именем немецкого ученого Гедэ, который впервые предложил конструкции механического вращательного (1905 г.), молекулярного (1912 г.) и пароструйного (1915 г.) насосов. Первые конструкции насосов поверхностного действия появились в 1950-х годах.

§ 26. КЛАССИФИКАЦИЯ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Вакуумные насосы можно классифицировать по следующим признакам: назначению, принципу действия, конструкции, характеру воздействия на откачиваемые газы и диапазону рабочих давлений.

По назначению насосы можно подразделить условно на форвакуумные ($P=1,01 \cdot 10^5$ — 10^{-2} Па), высоковакуумные ($P=10^{-2}$ — 10^{-6} Па) и сверхвысоковакуумные ($P=10^{-6}$ — 10^{-10} Па и ниже).

В зависимости от характера воздействия на откачиваемые газы различают насосы объемного действия, которые удаляют из откачиваемого объекта газ путем его сжатия в рабочем пространстве насоса и выталкивания в окружающую атмосферу или подачи в следующую ступень откачки, и поверхностного действия, которые удаляют из откачиваемого объекта газ путем связывания его на рабочих поверхностях насоса благодаря процессам адсорбции, конденсации, ионизации, диффузии и образования химических соединений. Общая классификация современных вакуумных насосов представлена в табл. 9.

Таблица 9

Классификация вакуумных насосов

По назначению	По принципу действия, конструкции и характеру воздействия на откачиваемые газы		Диапазон рабочих давлений, Па	
	насосы объемного действия	насосы поверхностного действия	предельное	начальное
1	2	3	4	5
Форвакуумные	Механические:	Адсорбционные		
	а) поршневые: с твердым поршнем		13,3	$1,01 \cdot 10^5$
	с жидкостным поршнем (насос Теплера)		0,133	$1,01 \cdot 10^5$
	б) вращательные:			
	многопластинчатые		13,3	$1,01 \cdot 10^5$
	пластинчатороторные		6,65—0,665	$1,01 \cdot 10^5$
	пластинчато-статорные		6,65—0,665	$1,01 \cdot 10^5$
	золотниковые		6,65—0,665	$1,01 \cdot 10^5$
	двухроторные		$1,33 \cdot 10^{-2}$	$1,33 \cdot 10^3$
	Эжекторные:			
	а) водоструйные		$6,66 \cdot 10^3$	$1,01 \cdot 10^5$
	б) пароводяные		1,33	$1,01 \cdot 10^5$
	в) парортутные		10^{-2}	$1,33 \cdot 10^3$
	г) паромасляные		10^{-2}	$1,33 \cdot 10^3$
	Адсорбционные		1,33— 10^{-2}	$1,01 \cdot 10^5$
	Диффузионные пароструйные:			
	а) бустерные: паромасляные парортутные		10^{-2}	$1,33 \cdot 10^3$
	б) высоковакуумные:		10^{-2}	$1,33 \cdot 10^3$

Продолжение табл. 9

1	2	3	4	5
Высоковокумные	паромасляные парортутные	Адсорбционные	10^{-5} 10^{-5}	13,3 $1,33 \cdot 10^2$
		Ионные	10^{-6} 10^{-5}	1,33 10^{-2}
		Геттерные или сублимационные	10^{-6} 10^{-7}	0,133 1,33
		Турбомолекулярные		
Сверхвысоковокумные		Электрофизические:		
		а) геттерно-ионные	10^{-7}	10^{-2}
		б) орбитронные	10^{-10}	10^{-2}
		в) магниторазрядные	10^{-9}	1,33
		Криогенные или конденсационные	10^{-10}	$1,33 \cdot 10^3$
		Комбинированные:		
		а) криосорбционные	10^{-10}	10^{-2}
		б) криогенный + магниторазрядный	10^{-8}	1,33
		в) магниторазрядный + геттерный	10^{-6}	1,33
		Диффузионные пароструйные со специальными ловушками:		
		а) паромасляные с многоярусной прогреваемой ловушкой	10^{-6}	13,3
		б) парортутные с многоярусной прогреваемой ловушкой	10^{-10}	$1,33 \cdot 10^2$

§ 27. ХАРАКТЕРИСТИКА ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

Работа вакуумного насоса характеризуется следующими параметрами: предельным давлением, наибольшим выпускным, или начальным, давлением, скоростью откачивающего действия.

Предельным давлением P_0 насоса называется минимальное давление, которое может быть достигнуто во входном патрубке заглушенного насоса после длительной работы в стационарном режиме. Величина предельного давления зависит от конструкции насоса, его герметичности и способа измерения давления: с вымораживанием конденсирующихся паров азотной ловушкой (сумма парциальных давлений) или без вымораживания (полное давление).

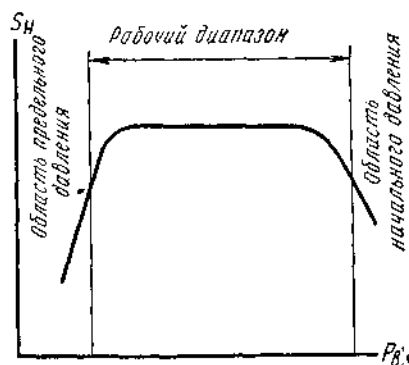


Рис. 31. Зависимость скорости откачивающего действия насоса от давления во входном патрубке $P_{вх}$

Наибольшим выпускным давлением насоса называется максимальное давление у выпускного патрубка, при котором еще обеспечивается его нормальная работа. Для большинства насосов наибольшее выпускное давление является и начальным давлением, т. е. давлением, при котором может быть запущен насос. Если это давление будет превышено, то некоторые насосы (например, диффузионные пароструйные, эжекторные) прекращают свою работу, а другие (например, геттерные, геттерно-ионные) приходят в негодность из-за окисления рабочих деталей.

Скоростью откачивающего действия насоса S_n называется объем газа, проходящий через поперечное сечение входного патрубка в единицу времени (1 с). Величина S_n зависит от типа, размеров рабочего пространства и режима работы насоса. В паспорте насоса указывается обычно величина S_n для оптимального режима работы. Поскольку скорость откачивающего действия большинства насосов имеет сложную зависимость от

давления во входном патрубке, то этот параметр часто изображается графически в виде зависимости (рис. 31).

Помимо рассмотренных выше основных параметров, работа насосов характеризуется рядом дополнительных параметров: производительностью, потребляемой мощностью, длительностью рабочего цикла и ресурсом работы, временем запуска, устойчивостью к периодическим напускам атмосферы и отключению электропитания, быстротой восстановления первоначального давления при кратковременном увеличении газовой нагрузки, ремонтно-пригодностью и степенью сложности обслуживания, габаритными размерами и массой.

Производительностью насоса Q называется количество газа, удаляемое им из входного патрубка в единицу времени (1 с). Величина Q равна произведению скорости откачивающего действия насоса S_n на давление во входном патрубке $P_{вх}$.

$$Q = S_n P_{вх}. \quad (62)$$

§ 28. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

Откачивающее действие механических вакуумных насосов основано на изменении объема рабочей камеры, в процессе которого газ засасывается в рабочую камеру, изолируется от входного патрубка, сжимается и выталкивается в окружающую атмосферу или в следующую ступень откачки.

Вращательные многопластинчатые насосы

Устройство вращательного многопластинчатого насоса показано на рис. 32. В корпусе 1 насоса вращается эксцентрично расположенный ротор 2, в пазы которого установлены подвижные пластины 3. При вращении ротора пластины плотно прижимаются под действием центробежной силы к цилиндрической поверхности корпуса и делят пространство между ротором и корпусом на ячейки с изменяющимися объемами. Ячейки левой половины насоса увеличивают свой объем при вращении ротора по часовой стрелке, и в них через входной патру-

бок 5 засасывается газ из откачиваемого объекта. После прохождения верхнего среднего положения объем ячеек начинает уменьшаться, а находящийся в них газ сжимается и выталкивается через выпускной патрубок 4 в окружающую атмосферу. Корпус насоса и опоры ротора охлаждаются водой. В рабочий объем насоса подается небольшое количество масла для смазки трущихся поверхностей.

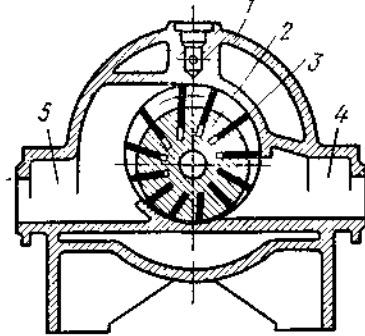


Рис. 32. Устройство вращательного многопластинчатого насоса:
1 — корпус, 2 — ротор, 3 — подвижные пластины, 4 — выпускной патрубок, 5 — входной патрубок

Промышленность выпускает такие насосы в двух исполнениях: одноступенчатом (РВН) и двухступенчатом (ДРВН) со скоростью откачиваемого действия при атмосферном давлении 100–1200 л/с и предельным давлением $2 \cdot 10^3$ – $2,66 \cdot 10^3$ Па.

Вращательные многопластинчатые насосы могут быть использованы для откачки неагрессивных газов из больших объемов до давления не ниже $2 \cdot 10^3$ Па.

Вращательные насосы с масляным уплотнением

В группу вращательных насосов с масляным уплотнением входят пластинчато-роторные, пластинчато-статорные и золотниковые вращательные, являющиеся наиболее распространенными типами насосов предварительного разрежения в высоковакуумных и сверхвысоковакуумных откачных системах. Они находят и самостоятельное применение для откачки неагрессивных газов и парогазовых смесей.

Пластинчато-роторные насосы. Устройство пластинчато-роторного насоса показано на рис. 33. В цилиндрическом корпусе 4 вращается эксцентрично расположенный ротор 6 с двумя диаметрально противоположными пазами, в которые установлены подвижные пластины 1. Поскольку скорость вращения ротора невелика и развиваемой центробежной силы недостаточно для прижи-

мания пластин к поверхности корпуса, то между пластинами 1 устанавливается распорная пружина 3. Пластины разделяют сегментообразный объем между поверхностями ротора и корпуса на две камеры с изменяющимися объемами: камеру всасывания 2 и камеру сжатия 5. При вращении ротора по часовой стрелке

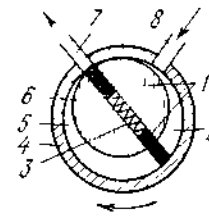


Рис. 33. Схемы пластинчато-роторного насоса:

1 — пластины, 2 — камера всасывания, 3 — распорная пружина, 4 — корпус, 5 — камера сжатия, 6 — ротор, 7 — выпускной патрубок, 8 — впускной патрубок

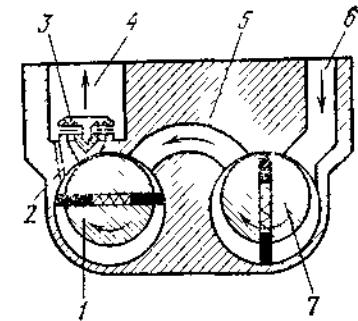


Рис. 34. Схема двухступенчатого пластинчато-роторного насоса:

1, 2, 7 — ступени, 3 — клапан, 4 — выпускной патрубок, 5 — соединительный канал, 6 — входной патрубок

объем камеры всасывания увеличивается и в нее через впускной патрубок 8 поступает газ из откачиваемого объекта. В то же время объем камеры сжатия уменьшается, а находящийся там газ сжимается и выталкивается через выходной клапан и выпускной патрубок 7 в атмосферу.

Характерной особенностью пластинчато-роторного насоса является наличие большого числа трущихся поверхностей в рабочем пространстве, а также наличие вредного пространства между выпускным отверстием и местом контакта ротора с корпусом насоса. Большое число трущихся поверхностей способствует перегреву корпуса и других рабочих элементов насоса. С целью охлаждения этих элементов и уплотнения различных соединений в рабочем пространстве насос погружен в масляную ванну. Часть масла, поступающего в рабочее про-

странство из масляной ванны, используется для смазки трущихся частей, а другая часть расходуется на уплотнение мест разделения рабочих камер. Величина предельного давления, обеспечиваемого насосами этого типа, зависит от объема вредного пространства, состояния и качества заливаемого в насос масла, герметичности корпуса и уплотнений вала ротора и других факторов.

Лучшие конструкции одноступенчатых пластинчато-роторных насосов имеют предельное давление не ниже 1,33 Па. Это давление может быть понижено до 0,133 Па, если применить двухступенчатые насосы. На рис. 34 показана схема двухступенчатого пластинчато-роторного насоса с последовательно соединенными ступенями 1 и 7. Ступень 7 является чистой и откачивает газ из объекта через входной патрубок 6, а ступень 1 является черновой, она откачивает газ через соединительный канал 5 из чистой ступени и выталкивает его после сжатия в окружающую атмосферу через клапан 3 и выпускной патрубок 4. При такой конструкции насоса масло в ступени 2 постепенно очищается от легколетучих соединений с высокой упругостью пара, что способствует получению более низких предельных давлений. Большинство выпускаемых промышленностью пластинчато-роторных насосов имеет двухступенчатое исполнение.

Пластинчато-статорные насосы. Устройство пластинчато-статорного насоса показано на рис. 35. В цилиндрическом корпусе 1 вращается цилиндрический эксцентрик 2, внешняя поверхность которого постоянно скользит по внутренней поверхности корпуса. Рабочие камеры всасывания 6 и сжатия 4 разделяются между собой подвижной статорной пластиной 5 и скользящим контактом эксцентрика 2 с корпусом 1. Пластина 5 постоянно прижимается к поверхности эксцентрика под действием рычажно-пружинного устройства 3. При вращении эксцентрика по часовой стрелке объем камеры всасывания 6 увеличивается и в нее через впускной патрубок засасывается газ из откачиваемого объекта. Объем камеры сжатия в это время уменьшается, а находящийся в ней газ сжимается и выталкивается через выпускной клапан в окружающую атмосферу. Для обеспечения смазки трущихся деталей и уплотнения мест разделения рабочих камер и различных соединений корпуса насос помещают в масляную ванну.

По сравнению с пластинчато-роторными пластинчато-статорные насосы имеют меньшее число трущихся поверхностей в рабочем пространстве, меньший объем вредного пространства и в соответствии с этим обеспечивают получение меньших предельных давлений.

Золотниковые или плунжерные насосы. Устройство золотникового насоса показано на рис. 36.

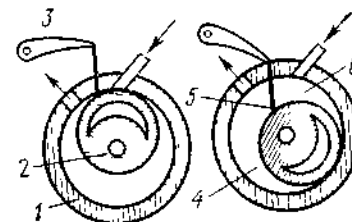


Рис. 35. Схема работы пластинчато-статорного насоса: 1 — корпус, 2 — эксцентрик, 3 — рычажно-пружинное устройство, 4 — камера сжатия, 5 — пластины, 6 — камера всасывания

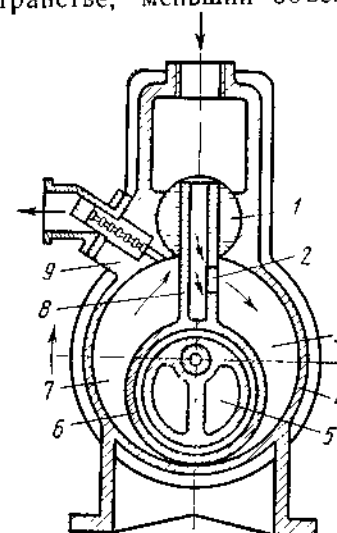


Рис. 36. Устройство золотникового насоса: 1 — шаровая опора, 2 — всасывающее отверстие, 3 — камера всасывания, 4 — корпус, 5 — эксцентрик, 6 — обойма, 7 — камера сжатия, 8 — патрубок, 9 — выпускной клапан

В цилиндрическом корпусе 4 насоса вращается цилиндрический эксцентрик 5 со свободно насаженной на него обоймой 6, имеющей прямоугольный полый патрубок 8 с всасывающим отверстием 2. При вращении эксцентрика 5 обойма 6 катится с некоторым скольжением по внутренней поверхности корпуса, а патрубок 8 совершает при этом возвратно-поступательное движение в шаровой опоре 1. Когда патрубок 8 движется вниз, газ из впускного патрубка попадает через отверстие 2 в камеру всасывания 3, объем которой по мере вращении эксцентрика 5 постепенно увеличивается. Объем камеры сжатия 7 в это время уменьшается, а находящийся в ней газ сжимается и выталкивается через выпускной клапан 9 в окружающую атмосферу. Камеры всасывания и сжатия разделяются между собой контактом обоймы 6 с корпусом и контактом патрубка с шаровой опорой. В

связи с тем что число трущихся частей в рабочем пространстве сведено до минимума, золотниковые насосы не требуют масляной ванны для охлаждения корпуса. Для смазки трущихся частей и уплотнения разделительных контактов камер сжатия и всасывания в рабочее пространство насоса подается небольшое количество масла.

Золотниковые насосы выпускаются промышленностью в одноступенчатом и двухступенчатом исполнении

Рабочие жидкости вращательных насосов с масляным уплотнением

К маслам, используемым в качестве рабочей жидкости вращательных насосов, предъявляется ряд специфических требований. Они должны иметь низкую упругость пара при рабочей температуре насоса и достаточно высокую вязкость, чтобы происходило уплотнение мест разделения рабочих камер насоса. В то же время их вязкость должна быть достаточно малой, чтобы обеспечить хорошую смазку трущихся частей. Кроме того,

Таблица 10

Характеристика масел для вращательных насосов

Наименование показателей	Значения показателей для масел	
	ВМ-4 (ГОСТ 7903-56)	ВМ-6 (РТУ РСФСР № НП-12-61)
Упругость пара при 20°С, Па	10 ⁻³ —6,65 10 ⁻⁴	3,99 10 ⁻³ —3,99 10 ⁻⁶
Температура, при которой упругость пара равна 1,33 Па, °С	95—110	105—130
Вязкость кинематическая, м/с		
при 20°С	370—385 10 ⁻⁴	165—215 10 ⁻⁴
» 50°С	47—57 10 ⁻⁴	30—40 10 ⁻⁴
» 100°С	8—11 10 ⁻⁴	6—8 10 ⁻⁴
Температура застывания, °С	—20	—15
Температура вспышки в открытом тигле, °С . .	206—230	220—230
Влагостойкость (поглощение воды), % . . .	0,6—0,8	0,2—0,3
Термоокислительная стабильность (увеличение вязкости при 50°С), %	95—110	15—50

масла не должны поглощать откачиваемые газы и пары воды, содержать летучих соединений (фракции) с упругостью пара выше требуемого предельного давления насоса и взаимодействовать с водой. Характеристики масел отечественного производства приведены в табл. 10.

Газобалластные насосы

На практике часто приходится откачивать влажный воздух или смесь воздуха с другими легкоконденсируемыми парами. Рассмотренные ранее конструкции вра-

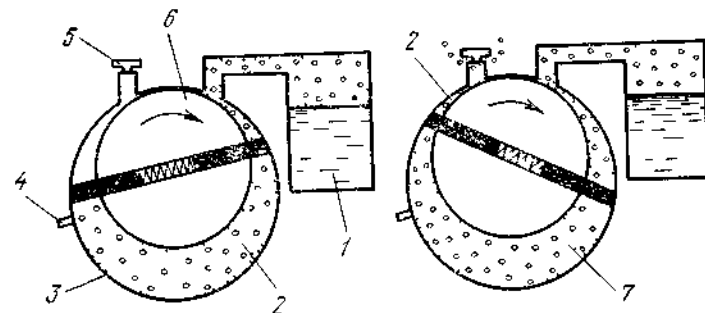


Рис. 37 Схема работы газобалластного пластинчато-роторного насоса

1 — откачиваемый объект, 2 — камера, 3 — насос, 4 — газобалластное устройство, 5 — выпускной клапан, 6 — ротор, 7 — камера сжатия

щательных насосов с масляным уплотнением не пригодны для откачки парогазовых смесей, так как при большом коэффициенте сжатия, определяемом как отношение максимального объема камеры всасывания к минимальному объему камеры сжатия в момент выхлопа, водяные пары конденсируются в воду даже при незначительном их парциальном давлении в смеси. Сконденсированная вода остается в насосе, а через выпускной клапан выталкивается лишь влажный воздух. По мере работы насоса в рабочей камере накапливается вода, которая перемешивается с маслом и образует эмульсию. Эмульсия пропитает в камеру всасывания, испаряется и вновь загрязняет откачиваемый объект парами воды. Кроме того, вода окисляет рабочие поверхности, что способствует осмолению масла и преждевременному выходу насоса из строя.

Техническая характеристика пластинчато-

Характеристика	Насосы		
	ВН-0,25-2	ВН-0,5-1	ВН-0,5-2
Число ступеней	2	1	2
Скорость откачивающего действия в интервале давления $1,013 \cdot 10^5$ — $1,33 \cdot 10^2$ Па	0,25	0,5	0,5
Предельное давление, Па:			
полное с газобалластом . .	1,33	10,64	1,33
полное без газобалласта . .	0,665	6,65	0,665
Сумма парциальных давлений . .	$2,66 \cdot 10^{-3}$	0,665	$2,66 \cdot 10^{-3}$
Частота вращения ротора, об/мин	450	450	450
Количество заливаемого в насос масла ВМ-6 или ВМ-4, л	0,85	0,75	1,2
Мощность асинхронного трехфазного электродвигателя (50 Гц, 380/220 В), кВт . .	0,18	0,18	0,27
Габариты, мм:			
длина	330	370	380
ширина	243,5	253	278
высота	229	255	255
Масса насоса с приводом, кг . . .	16,5	18	26,5

Чтобы обеспечить откачку парогазовых смесей вращательными насосами с масляным уплотнением, необходимо оснастить их газобалластными устройствами для впуска определенных порций сухого воздуха в камеру сжатия. Для примера рассмотрим принцип работы пластинчато-роторного насоса с газобалластным устройством (рис. 37). В насос 3, оснащенный газобалластным устройством 4, поступает парогазовая смесь из откачиваемого объекта 1. Газобалластное устройство 4 на рисунке условно показано как отверстие в корпусе насоса. При вращении ротора 6 камера 2 изолируется от входного

роторных насосов единой серии

ВН-1-1	ВН-1-2	ВН-3-1	ВН-3-2	ВН-6-2
1	2	1	2	2
1	1	3	3	6
106,4	1,33	106,4	1,33	1,33
6,65	0,665	6,65	0,665	6,65
0,399	$2,65 \cdot 10^{-3}$	0,266	$2,66 \cdot 10^{-3}$	$2,66 \cdot 10^{-3}$
450	450	450	450	450
1,2	2,3	2	4,7	5,3
0,27	0,4	0,4	0,6	1,0
450	450	482	545	568
239	325	297	433	447
335	335	359	358	420
26	38	37,5	67,5	70

патрубка насоса и сообщается с отверстием, через которое впускается воздух. В результате впуска воздуха парциальное давление газа в парогазовой смеси возрастает. Количество впускаемого балластного воздуха должно быть таким, чтобы парциальное давление пара в смеси к концу процесса сжатия было меньше давления насыщения. К концу процесса сжатия отверстие отсекается от камеры 2 и парогазовая смесь выталкивается в окружающую атмосферу через выхлопной клапан 5. Пар в данном случае не конденсируется, так как выхлопной клапан открывается при меньшем коэффициенте

те сжатия. В этот момент от входного патрубка изолируется камера сжатия 7 и в ней протекают процессы, аналогичные вышеописанным.

Газобалластные устройства выпускаемых промышленностью насосов имеют дозирующие вентили, которые позволяют регулировать количество подаваемого балластного газа.

Технические характеристики пластинчато-роторных газобалластных насосов единой серии приведены в табл. 11.

Особенности эксплуатации вращательных насосов с масляным уплотнением

Обычно завод-изготовитель гарантирует длительную безотказную работу насосов только при давлении всасывания не выше $1,33 \cdot 10^2$ Па, поэтому при откачке объектов, имеющих атмосферное давление, необходимо ограничивать поступление атмосферного воздуха в насос с помощью вентилей. Если в вакуумной системе вентиль отсутствует, то для снижения потерь рабочей жидкости можно применить способ периодического отсоединения насоса от откачиваемого объекта, перекрывая на время клапан или затвор в форвакуумной или высоковакуумной магистрали установки.

После выключения насоса в конце цикла откачки в рабочую камеру со стороны входного патрубка необходимо напустить воздуха до атмосферного давления, так как в противном случае масло под действием атмосферного давления со стороны выхлопного патрубка может подняться в вакуумную систему, вплоть до откачиваемого объекта. Для напуска воздуха во входной патрубок насоса необходимо предусмотреть вентиль или натека-тель вблизи этого патрубка.

При запуске остановленного на длительное время насоса следует помнить, что его рабочие камеры заполнены маслом, которое оказывает большое сопротивление вращению ротора в момент включения электродвигателя. Чтобы предотвратить поломку рабочих элементов насоса или выход из строя электродвигателя, необходимо до включения электродвигателя сдвинуть ротор с места в направлении вращения и повернуть его не менее чем на один оборот.

В процессе эксплуатации насоса необходимо следить за уровнем масла в масляной ванне и регулярно дополнять его, так как часть масла выбрасывается из насоса вместе с выхлопными газами и парами, особенно при работе с открытым газобалластным устройством или с большими газовыми нагрузками.

При обслуживании и профилактических осмотрах нужно соблюдать меры предосторожности против попадания посторонних предметов в рабочие камеры насоса. Для защиты рабочей камеры от попадания посторонних предметов со стороны откачиваемого объекта во входной патрубок насоса устанавливают фильтр в виде металлической сетки.

Характерные неисправности вращательных насосов с масляным уплотнением и их возможные причины указаны в табл. 12.

Таблица 12

Характерные неисправности насосов

Неисправность	Причина неисправности
Насос не обеспечивает предельного давления паспортного значения	Наличие течи в вакуумной системе; отсутствие или недостаточное количество масла в насосе; наличие течи по уплотнениям корпуса и сальникам ротора; неисправность привода и механизмов насоса; масло утратило свои вакуумные свойства; изменился состав масла и т. п.; наличие посторонних примесей в масле, залито «случайное» масло, загрязнение парами растворителей и т. п., неисправность выхлопного патрубка
Скорость откачивающего действия отличается от паспортного значения	Недостаточное число оборотов ротора; недостаточное количество масла в насосе (увеличение обратного потока газов и паров при плохом уплотнении камеры сжатия)
Заклинивание механизмов насоса	Наличие посторонних предметов в рабочей камере насоса; осмоление масла

Основным недостатком вращательных насосов с масляным уплотнением является наличие большого потока паров рабочей жидкости в сторону откачиваемого объекта, вызванного термическим разложением приме-

няемых сортов масла в местах контакта трущихся рабочих элементов. Чтобы уменьшить этот обратный поток паров, вблизи входного патрубка насоса устанавливаются различные маслоуловители и ловушки. Однако и они не исключают возможности загрязнения парами рабочей жидкости внутренних поверхностей откачиваемого объекта и элементов вакуумной системы.

Двухроторные вакуумные насосы ДВН

Двухроторные вакуумные насосы применяют для высокопроизводительной откачки объектов в диапазоне давлений $1,33 \cdot 10^{-2} - 10^{-2}$ Па.

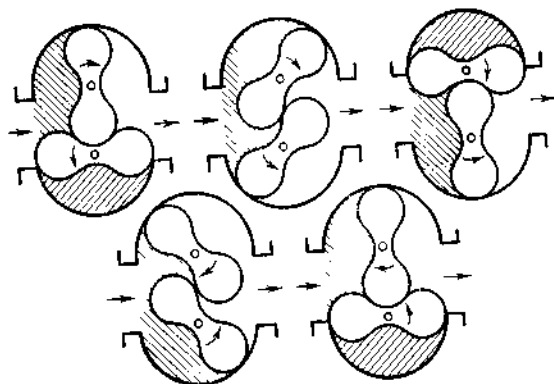


Рис. 38. Схема работы двухроторного вращательного насоса

Рабочими элементами двухроторного вакуумного насоса (рис. 38) являются два фигурных ротора, синхронно вращающихся в корпусе навстречу один другому. Роторы, напоминающие по форме цифру 8, не касаются при вращении друг друга, что позволяет при достаточной балансировке обеспечить высокую частоту их вращения (до 3000 об/мин) и получить большие скорости откачивающего действия. Зазоры между роторами, а также между роторами и корпусом составляют 0,4—0,8 мм. Для нормальной работы ДВН необходим насос предварительного разрежения, в качестве которого обычно используют вращательный насос с масляным уплотнением.

Двухроторные вакуумные насосы малой производительности

Характеристика	Насосы			
	ДВН-5-1		ДВН-15-1	
	с фланцевым электроприводом	с шкивом	с фланцевым электроприводом	с шкивом
Число степеней	1	2	1	2
Скорость откачивающего действия в интервале давлений $1,33 \cdot 10^2 - 6,65$ Па, л/с	5	7—10	15	15
Предельное давление, Па:				
полное	0,665	$5,32 \cdot 10^{-2}$	0,665	$6,65 \cdot 10^{-2}$
остаточное	$2,66 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$3,99 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$
Наибольшее выпускное давление, Па	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^2$	$3,32 \cdot 10^3$	$3,32 \cdot 10^3$
Частота вращения ротора, об/мин	2800	2400	2800	2800
Количество масла ВМ-1, заливаемого в картер насоса, л	0,1	0,12	0,25	0,4
Расход охлаждающей воды, л/ч	Воздушное охлаждение	Воздушное охлаждение	30	30
Мощность асинхронного трехфазного электродвигателя (50 Гц, 380/220 В), кВт	0,18	—	0,4	—

Продолжение табл. 13

Характеристика	Насосы							
	ДВН-5-1		ДВН-5-2 со шкивом	ДВН-15-1		ДВН-15-2		
	с фланцевым электро- двигателем	со шкивом		с фланцевым электро- двигателем	со шкивом	с фланцевым электро- двигателем	со шкивом	
Число степеней	1		2	1		2		
Габариты, мм:								
длина	447	295	261	550	430	572	430	
ширина	158	158	166	208	208	200	200	
высота	187	187	224	247	236	314	314	
Масса насоса с приво- дом, кг	17	15	23	53	45	65	51	
Рекомендуемый насос предварительного разре- жения	ВН-1-1 или ВН-1-2		ВН-1-2	ВН-3-1 или ВН-3-2		ВН-3-2		

Предельное давление ДВН зависит от давления, создаваемого насосом предварительного разрежения в его выходном патрубке.

Выпускаемые промышленностью двухроторные насосы подразделяются на насосы малой, средней и высокой производительности. Техническая характеристика ДВН малой производительности приведена в табл. 13.

К достоинствам двухроторных вакуумных насосов можно отнести отсутствие масляного уплотнения, малую чувствительность к пыли, загрязнениям и к прорывам атмосферы, высокую скорость откачки при малых габаритах и малом потреблении электроэнергии.

§ 29. ЭЖЕКТОРНЫЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

В простейшем эжекторном насосе (рис. 39) рабочее вещество (жидкость или пар) подается в сопло 1 при давлении несколько выше атмосферного P_1 . На выходе

расширяющегося сопла давление рабочего вещества понижается до величины P_2 , а скорость его течения увеличивается. В камере смешения 2 молекулы откачиваемого газа, которые поступают туда из откачиваемого объекта через патрубок 4, захватываются струей рабочего вещества. Образовавшаяся смесь рабочего вещества и газа поступает в диффузор 3, где скорость ее течения понижается, а давление возрастает с величины P_2 до P_3 .

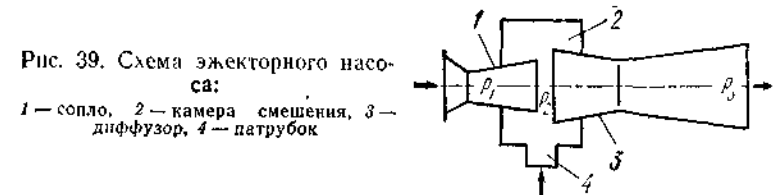


Рис. 39. Схема эжекторного насоса:
1 — сопло, 2 — камера смешения, 3 — диффузор, 4 — патрубок

Давление P_3 на выходе из диффузора поддерживается либо насосом предварительного разрежения, либо следующей ступенью насоса.

По виду рабочего вещества эжекторные вакуумные насосы подразделяются на водоструйные, пароводяные, паротурбинные и паромасляные.

§ 30. ДИФфуЗИОННЫЕ ПАРОСТРУЙНЫЕ НАСОСЫ

Принцип действия и классификация диффузионных пароструйных насосов

Принцип действия диффузионных пароструйных насосов основан на откачивающем действии струи пара рабочей жидкости, выходящей с большой скоростью из сопла. Схема простейшего диффузионного пароструйного насоса показана на рис. 40. Такая конструкция характерна для стеклянных диффузионных насосов. Пар рабочей жидкости поступает из испарителя в паропровод 1 и далее в расширяющееся сопло 2. На выходе из сопла струя пара приобретает большую скорость. Молекулы откачиваемого газа через патрубок 3 поступают в кольцевой зазор (а—б) между соплом и корпусом и диффундируют в струю пара рабочей жидкости. В результате столкновения с молекулами пара молекулы газа приобретают преимущественное направление в сторону выпускного

патрубка 5. Смесь рабочего пара с газом попадает на охлажденную стенку холодильника 4. При этом пар конденсируется на ней, а молекулы откачиваемого газа продолжают свое движение в сторону выпускного патрубка 5, откуда они откачиваются насосом предварительного разрежения. Конденсат рабочей

жидкости со стенки холодильника стекает в испаритель и вновь включается в рабочий цикл насоса.

По виду применяемой рабочей жидкости диффузионные пароструйные насосы подразделяются на паромасляные и парортутные. В зависимости от материала, из которого изготовлены рабочие элементы, различают стеклянные и металлические диффузионные пароструйные насосы.

Диффузионные паромасляные насосы, в свою очередь, подразделяются по устройству паропровода: на простые и фракционирующие, а по способу охлаждения корпуса (холодильника) — на насосы с водяным и воздушным охлаждением.

Диффузионные паромасляные и парортутные насосы делятся по назначению на высоковакуумные и бустерные (или вспомогательные).

Диффузионные паромасляные насосы

Диффузионные паромасляные насосы являются наиболее распространенными средствами для получения высокого и сверхвысокого вакуума в промышленных установках различного назначения: от простейших откачных постов и напылительных установок до ускорителей элементарных частиц. Диапазон рабочих давлений той или иной конструкции насоса зависит от качества рабочей жидкости и особенностей конструктивного исполнения.

Рабочие жидкости диффузионных паромасляных насосов должны иметь: минимально возможную упругость пара при комнатной температуре и высокую упругость пара при рабочей температуре в кипятильнике; малую способность к растворению откачиваемых газов; малокомпонентный состав; высокую термоокислительную стабильность и термостойкость; достаточную вязкость при рабочей температуре в кипятильнике для обеспечения хорошей циркуляции масла в насосе.

В табл. 14 приведены характеристики рабочих жидкостей для диффузионных паромасляных насосов, выпускаемых отечественной промышленностью.

Высоковакуумные паромасляные насосы. Устройство трехступенчатого высоковакуумного фракционирующего паромасляного насоса показано на рис. 41. Пар рабочей жидкости из испарителя поступает по концентрично расположенным паропроводам к рабочим соплам насоса (движение пара показано на рис. 41, а стрелками). Верхнее (входное) сопло, которое питается паром из центрального паропровода, практически определяет величину предельного давления и максимальной скорости откачивающего действия насоса. Зазор между входным соплом и корпусом устанавливается поэтому максимально возможным. Последующие ступени насоса имеют меньший зазор между соплом и корпусом, что обеспечивает необходимый коэффициент сжатия откачиваемого газа. Конструкция последней ступени (выходной) определяет величину наибольшего выпускного давления, которая для большинства высоковакуумных паромасляных насосов не превышает 26,6 Па.

Для создания больших значений выпускного давления в качестве выходной ступени используется эжекторное сопло. Следует, однако, отметить, что совместная работа диффузионной и эжекторной ступеней от одного испарителя возможна не во всех конструкциях насосов, так как для нормальной работы эжекторного сопла необходим пар большого давления.

В центральный паропровод, питающий входное сопло, поступает масло, практически очищенное от легких фракций, образующихся в испарителе в результате термического разложения масла или его окисления при внезапных прорывах атмосферного воздуха в работающий насос. С этой целью испаритель насоса выполняется в виде лабиринта (рис. 41, б).

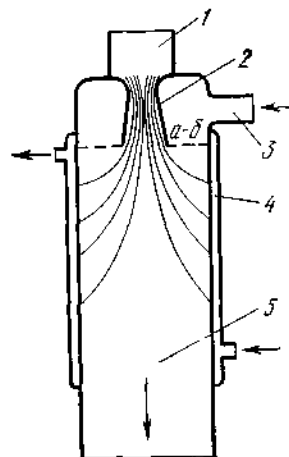


Рис. 40. Схема простейшего диффузионного пароструйного насоса:

1 — паропровод, 2 — сопло, 3 — входной патрубок, 4 — холодильник, 5 — выпускной патрубок

Таблица 14

Характеристика рабочих жидкостей для диффузионных паромасляных насосов

Наименование рабочей жидкости	Упругость пара при 20°C, Па	Температура, при которой упругость пара равна 1,33 Па, °C	Климатическая влажность при 30°C, м²/с	Плотность при 20°C, г/см³	Молекулярный вес, г/моль	Температура образования пара, °C	Назначение
ВМ-1 (ГОСТ 7904-56) ВМ-5 (ТУ МЗ 43-65) ВКЖ-94А (ТУ МХП) ЕУ-62-57	5,32·10 ⁻⁶ —2,66·10 ⁻⁷ 1,33·10 ⁻⁶ —1,33·10 ⁻⁸ Не выше 6, 65·10 ⁻⁶	140—150 135—155 120—160	65—69 67—74 16—93	0,87 0,87 0,97	450 450 700	27,4 — 28,4	Для высоко- вакуумных насосов
ВКЖ-94Б (ТУ МХП) ЕУ-62-57 ПФМС-2 (ТУ ГКХ) ЕУ-246-62 Продукт «ОФ» (ТУ 1732-48) Продукт «ОС» (ТУ 1732-48)	1,33·10 ⁻⁶ —1,33·10 ⁻⁴ 6,65·10 ⁻⁷ —9,31·10 ⁻⁸ 1,33·10 ⁻⁵ Не выше 2,66·10 ⁻⁶	100—165 95—100 120—122 141—143	16—33 8—13 — 8,5	0,97 1,05—1,07 0,98 0,91	700 700 390 426	— 29,7 — —	
Масло «Г» (ГОСТ 9184-59) ПФМС-1 (ТУ) ЕУ-246-62 ВМ-3 (ТУ) № НП-11-61)	6,65·10 ⁻³ —1,33·10 ⁻⁴ 1,33·10 ⁻³ —9,31·10 ⁻³ 1,33·10 ⁻² —1,33·10 ⁻³	70—90 65—75 70—80	12,5—15,3 3,6—4,6 7—10	0,85 1,0 0,85	350 700 —	24 27 27	Для бус- терных насосов

Из конденсата рабочей жидкости, проходящего большой путь по лабиринту, в первую очередь испаряются легкие фракции, которые поступают преимущественно в выходные ступени насоса. Таким образом происходит непрерывное разделение масла по фракциям (фракционирование) непосредственно в работающем насосе.

Выпускаемые промышленностью металлические высоковакуумные паромасляные насосы подразделяются на насосы общего и специального назначения. Техническая характеристика некоторых насосов общего назначения приведена в табл. 15.

Насосы общего назначения многоступенчатые (3—4 ступени) фракционирующие, имеют колпачковые маслоотражатели. На базе насосов общего назначения промышленность выпускает вакуумные агрегаты общего назначения: ВА-0,1-1, ВА-05-4, ВА-2-3, ВА-5-4, ВА-8-4, ВА-05-5 и ВА-8-9М, которые состоят из диффузионного паромасляного насоса, конденсационной (азотной) ловушки и вакуумного затвора, смонтированных на общей раме. Сверхвысоковакуумные агрегаты ВА-05-5 и ВА-8-9М имеют предельное давление около $6,65 \cdot 10^{-7}$ Па и могут быть использованы для откачки различных ЭВП или сверхвысоковакуумных установок.

Насосы специального назначения (ММ-40А, ЦВЛ-100 и насосы серии ИО-76) широко применяют в электровакуумной промышленности как высоковакуумные средства откачки на откачных полуавтоматах, автоматах или машинах конвейерного типа. Техническая характеристика насосов специального назначения приведена в табл. 16.

Широкое применение диффузионных паромасляных насосов в различных отраслях промышленности обусловлено рядом их положительных свойств:

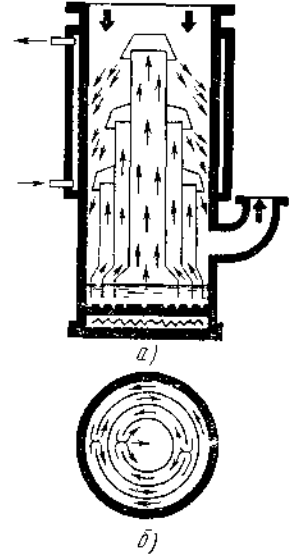


Рис. 41. Схема трехступенчатого фракционирующего диффузионного паромасляного насоса:
а — общий вид, б — схема лабиринтного испарителя

Таблица 15
Техническая характеристика диффузионных паромасляных насосов общего назначения

Наименование показателей	Параметры для насосов					
	НВО-40М	Н-015С	Н-1С-5	Н-5С-М	Н-2Т-3	Н-8Т-М
Диапазон рабочих давлений, Па	$6,65 \cdot 10^{-4}$ — —0,133	$2,66 \cdot 10^{-4}$ — —0,133	$2,66 \cdot 10^{-5}$ — —0,133	$1,33 \cdot 10^{-5}$ — $6,65 \cdot 10^{-2}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$ — $6,65 \cdot 10^{-2}$	$6,65 \cdot 10^{-4}$ — $5,32 \cdot 10^{-2}$
Средняя скорость откачиваемого действия по воздуху, л/с	40	15	50	500	1500	7500
Предельное давление, Па	$6,65 \cdot 10^{-4}$	$2,66 \cdot 10^{-4}$	$2,66 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$6,65 \cdot 10^{-5}$
Наибольшее выпускное давление, Па	39,9	53,2	39,9	26,6	39,9	39,9
Рабочая жидкость	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1	ВМ-1
Мощность нагревателя, кВт	0,45	0,2	0,35	0,7	1,7	3,5
Расход воды на охлаждение насоса, л/ч	Охлаждение воздушное	25	40—50	120	250	300
						1000

Продолжение табл. 15

Наименование показателей	Параметры для насосов					
	НВО-40М	Н-015С	Н-1С-5	Н-5С-М	Н-2Т-3	Н-8Т-М
Скорость проникновения масла на сторону всасывающего вакуума, мг/ч·см ²	0,1	0,1	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Масса насоса, кг	8	3	8	22	65	650
Диаметр условного прохода, мм:						
входного патрубка	62	46	86	160	260	500
выходного патрубка	10	8	20	32	50	85
Габариты, мм	$302 \times 283 \times$ $\times 159$	$240 \times 165 \times$ $\times 120$	$328 \times 206 \times$ $\times 124$	$540 \times 344 \times$ $\times 240$	$775 \times 555 \times$ $\times 388$	$1234 \times 985 \times$ $\times 600$
Скорость откачивающего действия форвакуумного насоса, л/с	0,2	0,04	0,2	2,0	3,0	12,0
						10,0

Таблица 16
Техническая характеристика диффузионных паромасляных насосов специального назначения

Наименование показателей	Параметры насосов							
	ММ-40А	ЦВЛ-100	ИО-76-001	ИО-76-013	ИО-76-017	ИО-76-012	ИО-76-014	ИО-76-016
Диапазон рабочих давлений, Па	$6,65 \cdot 10^{-4}$ $-2,66 \cdot 10^{-2}$ 25	$3,99 \cdot 10^{-4}$ 100	$3,99 \cdot 10^{-4}$ 6,2	$1,33 \cdot 10^{-4}$ $-2,66 \cdot 10^{-2}$ 15	$9,31 \cdot 10^{-5}$ $-2,66 \cdot 10^{-2}$ 30	$9,31 \cdot 10^{-5}$ $-2,66 \cdot 10^{-2}$ 60	$9,31 \cdot 10^{-5}$ $-2,66 \cdot 10^{-2}$ 100	$9,31 \cdot 10^{-5}$ $-2,66 \cdot 10^{-2}$ 500
Средняя скорость откачивающего действия по воздуху, л/с								
Предельное давление, Па	$6,65 \cdot 10^{-4}$	$3,99 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$9,31 \cdot 10^{-5}$	$9,31 \cdot 10^{-5}$	$9,31 \cdot 10^{-5}$	$9,31 \cdot 10^{-5}$	$9,31 \cdot 10^{-5}$
Количество масла ВМ-1, заливаемого в насос, см ³	40	75	30	30	40	50	150	300
Мощность подогревателя, кВт	0,45	0,45	0,11	0,4	0,45	0,5	1,15	3,0
Расход воды на охлаждение насоса, кг	50	50	30	60	90	120	150	210
Масса насоса, кг	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$14,0 \cdot 10^{-4}$
Габариты, мм	$455 \times 205 \times 116$	$465 \times 265 \times 130$	$155 \times 88 \times 73$	$300 \times 130 \times 82$	$345 \times 146 \times 96$	$440 \times 220 \times 116$	$480 \times 216 \times 172$	$540 \times 320 \times 220$
Необходимая скорость откачивающего действия форвакуумного насоса, л/с	0,2	0,4	0,007	0,007	0,015	0,03	0,05	0,16

низкой упругостью пара рабочей жидкости при комнатной температуре, что позволяет получать высокий вакуум без применения ловушек;
нетоксичностью рабочей жидкости;
надежностью в работе и простотой обслуживания;
малой чувствительностью к качеству поверхности рабочих деталей насоса;
возможностью использования практически любого конструкционного материала для изготовления насоса.

К недостаткам диффузионных паромасляных насосов следует отнести:

неоднородность состава рабочих жидкостей (молекулы органических рабочих жидкостей имеют очень сложное строение и могут содержать летучие соединения — фракции с большей или меньшей упругостью пара);

возможность образования летучих фракций непосредственно в процессе работы насоса либо за счет термического разложения в испарителе, либо при прорывах атмосферного воздуха в работающий насос;

обратное проникновение паров рабочей жидкости из насоса в откачиваемый объект.

Бустерные паромасляные насосы. Бустерные паромасляные насосы по своей конструкции несколько отличаются от высоковакуумных паромасляных насосов:

бустерный насос имеет меньший зазор между соплом и корпусом, т. е. меньшее входное сечение;

давление пара рабочей жидкости в испарителе бустерного насоса выше, а следовательно, выше плотность пара рабочей жидкости и больше величина наибольшего выпускного давления;

бустерный насос, как правило, снабжен эжекторной выходной ступенью, что также способствует увеличению наибольшего выпускного давления;

в бустерном насосе отсутствует фракционирующее устройство.

Диффузионные парортутные насосы

В качестве рабочей жидкости в парортутных насосах используют химически чистые сорта ртути: Р1 и Р2, которые обладают следующими достоинствами: постоянством состава, а следовательно, и постоянным значением упругости пара при данной температуре, постоянством

температуры кипения в вакууме ($\sim 200^\circ \text{C}$); не разлагаются при перегреве работающего насоса и прорывах в него атмосферного воздуха; не смачивают металлические поверхности, что позволяет оставлять минимальные зазоры между соплом и корпусом и обеспечить тем самым высокие значения наибольшего выпускного давления.

К недостаткам ртути следует отнести: токсичность паров ртути даже при незначительных концентрациях; высокую упругость пара при комнатной температуре; взаимодействие с цветными металлами с образованием амальгамы, что ограничивает ассортимент металлов для изготовления деталей парортутного насоса.

Диффузионные парортутные насосы применяют для откачки ЭВП с ртутным наполнением, ускорителей, масс-спектрометров и других установок, где требуется получить остаточное давление, свободное от углеводородных соединений. При использовании многоступенчатых конденсационных (вымораживающих) ловушек парортутные насосы позволяют получить предельное давление до 10^{-10} Па.

Особенности эксплуатации диффузионных пароструйных насосов

Как уже отмечалось ранее, вращательные насосы с масляным уплотнением, используемые в качестве насосов предварительного разрежения при работе диффузионных пароструйных насосов, обеспечивают большие потоки проникновения паров рабочей жидкости в откачиваемый объект. При попадании паров масла вращательного насоса в испаритель диффузионного паромасляного насоса изменяется состав рабочей жидкости в испарителе и как следствие этого увеличивается предельное давление насоса. С целью уменьшения указанного действия применяют последовательное соединение двух диффузионных паромасляных насосов, один из которых является высоковакуумным, а другой — промежуточным или вспомогательным. В этом случае пары масла из вращательного насоса попадают только в промежуточный диффузионный паромасляный насос и не влияют на работу высоковакуумного насоса. Аналогичное явление наблюдается и при работе диффузионных парортутных насосов. С учетом вышесказанного, все промышленные образцы сверхвысоковакуумных паромасляных или парортутных

вакуумных агрегатов имеют два последовательно соединенных диффузионных насоса.

Характерные неисправности диффузионных пароструйных насосов и возможные их причины указаны в табл. 17.

Таблица 17

Неисправности диффузионных пароструйных насосов

Неисправность	Возможная причина неисправности
Насос не откачивает	Перегорел электронагреватель испарителя или нет контакта в электропроводке к нему; неправильно собран паропровод насоса; наличие течи в корпусе насоса; нет масла в насосе Недостаточное количество масла в насосе; паропровод не плотно установлен в корпусе насоса; наличие течи в районе испарителя
При работе насоса наблюдаются значительные колебания (флюктуации) рабочего давления	Окислена рабочая жидкость (прорыв атмосферы или работа при отключенном насосе предварительного разрежения); большое газоотделение рабочей жидкости и деталей насоса; наличие грязи или посторонних предметов в испарителе
Насос откачивает, но давление в объекте уменьшается очень медленно	Мала мощность электронагревателя испарителя; плохо работает насос предварительного разрежения; наличие посторонних предметов в выпускном патрубке; плохая теплоизоляция испарителя
Срыв паровой струи насоса	

§ 31. ПОНЯТИЕ О БЕЗМАСЛЯНОЙ ОТКАЧКЕ

Под безмасляной откачкой подразумевают откачку с помощью средств, не имеющих органических рабочих жидкостей. В соответствии с классификацией насосов (см. табл. 9) к безмасляным насосам относятся насосы поверхностного действия и их возможные комбинации, а также некоторые насосы объемного действия: поршневые насосы с жидкостным (ртутным) поршнем; водоструйный, пароводяной и парортутный эжекторные насосы, диффузионные парортутные насосы, имеющие в качестве

средств предварительного разрежения один из видов безмасляных эжекторных насосов.

Широкое внедрение средств безмасляной откачки обусловлено возросшими требованиями к ЭВП по долговечности и уровню шумов, а также жесткими требованиями к составу остаточной атмосферы в ряде установок для проведения физических исследований. в электронных микроскопах, масс-спектрометрах и т. п.

Кроме чисто масляных и безмасляных средств откачки существует группа насосов, которая при правильной эксплуатации обеспечивает настолько малые потоки проникновения паров органических рабочих жидкостей в откачиваемый объект, что они не оказывают заметного влияния на работоспособность ЭВП или экспериментальных устройств.

К таким средствам откачки, называемым обычно практически безмасляными, можно отнести: турбомолекулярные насосы; диффузионные паромасляные насосы с многоярусными прогреваемыми оптически непрозрачными ловушками.

§ 32. ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ НАСОСЫ

Турбомолекулярные насосы представляют собой особую группу механических сверхвысоковакуумных насосов объемного действия. В отличие от вращательных насосов с масляным уплотнением, откачивающее действие которых основано на сжатии определенной порции газа в изменяющемся рабочем объеме насоса, турбомолекулярные насосы откачивают газы в результате сообщения их молекулам направленного перемещения быстро вращающимися поверхностями ротора. Необходимая степень сжатия газов обеспечивается конструктивным исполнением насоса в виде многоступенчатого осевого компрессора. Устройство турбомолекулярного насоса показано на рис. 42.

В корпусе насоса с жестко закрепленными статорными дисками вращается ротор, на котором, в свою очередь, жестко закреплены роторные диски (рис. 42, а). Статорные и роторные диски имеют косые прорезы (рис. 42, б), причем прорезы статорных дисков являются зеркальным отражением прорезов роторных дисков. Количество прорезов в дисках может составлять 20—50, что

обеспечивает достаточно высокую скорость откачивающего действия насоса. Зазоры между роторными и статорными дисками, а также радиальные зазоры составляют около 1 мм.

Откачивающее действие турбомолекулярного насоса наиболее эффективно при молекулярном режиме течения газа через рабочие зазоры и поэтому нормальная его работа возможна только с насосом предварительного разрежения.

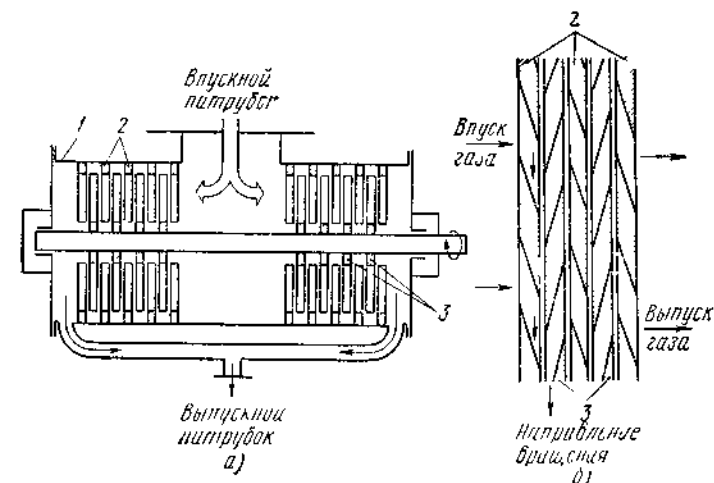


Рис 42 Устройство турбомолекулярного насоса:
а — общий вид, б — схема расположения прорезов в роторных и статорных дисках, 1 — корпус, 2 — статорные диски, 3 — роторные диски

Газ из откачиваемого объекта поступает во входной патрубок, находящийся в центре насоса, и, сталкиваясь с быстро движущейся поверхностью косых прорезов роторных дисков, начинает перемещаться преимущественно в направлении от середины к краям насоса. Каждая пара роторного и статорного дисков обеспечивает определенный коэффициент сжатия газа, а так как количество этих пар велико, то на выходе суммарный коэффициент сжатия газа достигает больших значений.

Турбомолекулярные насосы применяют как средства высоковакуумной и сверхвысоковакуумной откачки в установках с длительным циклом работы: установки имитации космического пространства, ускорители эле-

ментарных частиц, а также для откачки ЭВП с длительным циклом обезгаживания.

Отечественная промышленность выпускает турбомолекулярные насосы двух типов: ТМН-200 и ТВН. Техническая характеристика этих насосов приведена в табл. 18.

Таблица 18

Техническая характеристика турбомолекулярных насосов

Тип насоса	Пределное давление, Па	Скорость откачиваемого действия по воздуху, л/с	Частота вращения ротора, об/мин	Расход охлаждающей воды, л/ч	Электропитание насоса	Наибольшее выпускное давление, Па
ТМН-200	$1,33 \cdot 10^{-7}$	250	18 000	70	Сеть переменного тока; 300 Гц; 510 Вт; 380/220 В	13,3
ТВН-200	$6,65 \cdot 10^{-7}$	200	16 000	50	Сеть переменного тока; 50 Гц; 380/220 В; 400 Вт	13,3
ТВН-500	$6,65 \cdot 10^{-7}$	500	12 000	50	Сеть переменного тока; 50 Гц; 380/220 В; 800 Вт	13,3

К достоинствам турбомолекулярных насосов можно отнести: постоянство скорости откачиваемого действия во всем диапазоне рабочих давлений; возможность получения высокого и сверхвысокого вакуума без применения ловушек; обеспечение практически безмасляной откачки во всем диапазоне рабочих давлений; малое время запуска; наличие длительного инерционного периода вращения ротора после отключения электроэнергии, что позволяет сохранить на некоторое время низкое давление в откачиваемом объекте.

Наряду с указанными достоинствами турбомолекулярным насосам присущи и некоторые недостатки: низкая температура обезгаживания корпуса (не выше 100°C); трудность изготовления насосов с высокой скоростью откачиваемого действия; избирательность откачиваемого действия по различным газам; сравнительно большое время восстановления первоначального давления при кратковременном увеличении газовой нагрузки.

§ 33. АДсорбЦИОННЫЕ НАСОСЫ

Адсорбционные насосы относятся к группе насосов поверхностного действия. Принцип действия адсорбционного насоса основан на способности некоторых предварительно обезгаженных и охлажденных до низких температур пористых твердых тел (адсорбентов) поглощать большие количества

газов и паров главным образом в результате физической адсорбции. При физической адсорбции связь молекулы газа или пара с поверхностью адсорбента очень мала и поэтому процесс поглощения газа адсорбционными насосами полностью обратим: при охлаждении адсорбента происходит поглощение газов и паров, а при нагревании — их обратное выделение. В качестве адсорбентов могут быть использованы активированные древесные или торфяные угли, силикагели, алюмогели и природные или искусственные цеолиты. Наибольшей сорбционной емкостью обладают активированные угли и цеолиты.

Устройство простейшего цеолитового адсорбционного насоса показано на рис. 43. В металлическом корпусе 2 насоса установлена кассета 4 с адсорбентом 3. При подготовке насоса к работе сосуд Дьюара 5 снимают, и на корпус надвигают электрическую печь. Обезгаживание адсорбента проводится при непрерывной откачке выделяющихся газов через входной патрубок 1. После обезгаживания адсорбента корпус насоса охлаждается жидким азотом с помощью сосуда Дьюара.

Адсорбционные насосы чаще всего используют как средства для создания предварительного разрежения до давления $1,33\text{—}10^{-2}$ Па в вакуумных системах безмасляной откачки. Они могут работать и как самостоятельные средства безмасляной откачки замкнутых объектов с малыми потоками газоотделения до высокого или

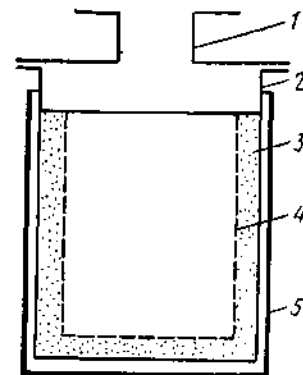


Рис. 43. Схема адсорбционного насоса:

1 — входной патрубок, 2 — корпус, 3 — адсорбент, 4 — кассета из металлической сетки, 5 — сосуд Дьюара

сверхвысокого вакуума. Для получения высокого и сверхвысокого вакуума с помощью адсорбционных насосов необходима периодическая прокачка неадсорбируемых газов вспомогательным насосом объемного действия.

Отечественная промышленность выпускает цеолитовые адсорбционные насосы ЦВН и вакуумные цеолитовые агрегаты ЦВА на их основе.

К достоинствам адсорбционных насосов относятся: простота конструкции; отсутствие электропитания (имеющиеся электроподогреватели включаются только на время обезгаживания адсорбента); обеспечение безмасляной откачки в широком интервале давлений: от атмосферного до высокого вакуума.

Среди недостатков адсорбционных насосов следует отметить: ограниченную сорбционную емкость насоса по воздуху и зависимость давления над насосом от количества поглощенного газа; малую сорбционную емкость насоса по водороду, который является основным компонентом газоотделения большинства конструктивных материалов; необходимость бесперебойной заливки жидкого азота в систему охлаждения насоса; необходимость в частой регенерации (обезгаживание адсорбента) насоса (при этом качество адсорбента после нескольких циклов регенерации заметно ухудшается: адсорбент осыпается, обугливается и т. п.); возможность запыления вакуумной системы и откачиваемого объекта продуктами разложения и осыпания адсорбентов, так как все виды адсорбентов, применяемых в этих насосах, в той или иной степени являются источниками пыли.

Сорбционная емкость насоса по водороду может быть повышена применением активированных адсорбентов: платинированных или палладированных силикагелей и т. п. Насосы с активированными адсорбентами позволяют получить предельное давление до 10^{-8} Па при кратковременной предварительной откачке вспомогательным насосом с целью снижения парциального давления инертных газов: гелия и неона.

§ 34. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

Принцип действия электрофизических вакуумных насосов поверхностного действия основан на поглощении

газов в результате двух параллельно протекающих процессов ионной и геттерной откачки.

Прежде чем перейти к описанию конкретных типов электрофизических насосов рассмотрим механизмы ионной и геттерной откачки в соответствующих насосах.

Ионные насосы

Откачивающее действие ионных насосов основано на предварительной ионизации молекул газа в газовом разряде или в ионизаторе с горячим катодом и в последующем поглощении (связывании) образовавшихся ионов. Ионная откачка газов сопровождается следующими процессами:

внедрением положительных ионов газа в материал электродов, находящихся под отрицательным потенциалом (при этом глубина внедрения зависит от энергии ионов);

частичной диффузией связанных частиц в глубь материала электрода;

обратным выделением связанных частиц при повышении концентрации газа в материале электродов;

обратным выделением связанных частиц под действием продолжающейся ионной бомбардировки электродов (выделение связанных частиц при этом может происходить либо в результате непосредственного воздействия иона на связанную частицу, либо в результате испарения или оплавления материала электрода под действием ионной бомбардировки);

уменьшением откачивающего действия по мере повышения концентрации газа в материале электродов.

До недавнего времени принцип ионной откачки, реализуемый в чистом виде в ионизационных манометрических преобразователях, широко использовался для получения сверхвысокого вакуума в небольших объемах. В настоящее время ионные насосы в чистом виде практически не применяются из-за большого расхода электроэнергии, малой скорости откачивающего действия, узкого диапазона рабочих давлений и избирательности откачивающего действия по различным газам.

Геттерные насосы

Принцип действия геттерных насосов основан на поглощении инертных газов пленками распыляемых ак-

тивных металлов (геттеров) с образованием различных химических соединений (окислов, нитридов, гидридов и т. п.) и твердых растворов при температурах, близких к комнатной и ниже. В качестве распыляемых геттерных материалов могут быть использованы: барий, титан, молибден, хром и другие металлы. Наибольшее применение из указанных металлов нашел титан, образующий при комнатной температуре устойчивые соединения с компонентами воздуха (за исключением инертных газов) с низкой упругостью пара. Для распыления титана в геттерных насосах применяют либо метод термического нагрева путем прямого пропускания тока через титано-молибденовую проволоку или косвенного нагрева титана внешним или внутренним нагревателем, либо метод расплавления под действием электронной бомбардировки (электронным лучом).

Для запуска геттерного насоса и откачки инертных газов необходим вспомогательный насос объемного действия: диффузионный паромасляный или турбомолекулярный.

К основным недостаткам геттерных насосов можно отнести: сложность обслуживания насоса; ограниченный срок бесперебойной работы; отсутствие заметной скорости откачивающего действия по инертным газам.

Отсутствие заметной скорости откачивающего действия по инертным газам у геттерных насосов и наличие ее у ионных насосов предопределили создание группы электрофизических насосов поверхностного действия, объединивших в одном корпусе оба эти насоса.

В зависимости от способа распыления геттерного материала и ионизации газа в рабочем пространстве насоса электрофизические насосы можно разделить на две подгруппы: 1) геттерно-ионные, 2) магниторазрядные.

Геттерно-ионные насосы

В геттерно-ионных насосах непрерывное или периодическое напыление активного металла на рабочую поверхность может осуществляться либо из жидкой (плавление электронным лучом), либо из твердой (термическое испарение) фазы. Для ионизации откачиваемых газов применяют преимущественно электростатические ионизаторы с горячим катодом. Ионизация (и возбуждение) откачиваемых газов способствует повышению

эффективности поглощения активных газов и создает условия для связывания инертных газов. Геттерным материалом в этих насосах может служить иодидный титан, титановый сплав ВТ-1-1 или титано-молибденовая проволока, полученная путем осаждения титана на молибденовой проволоке.

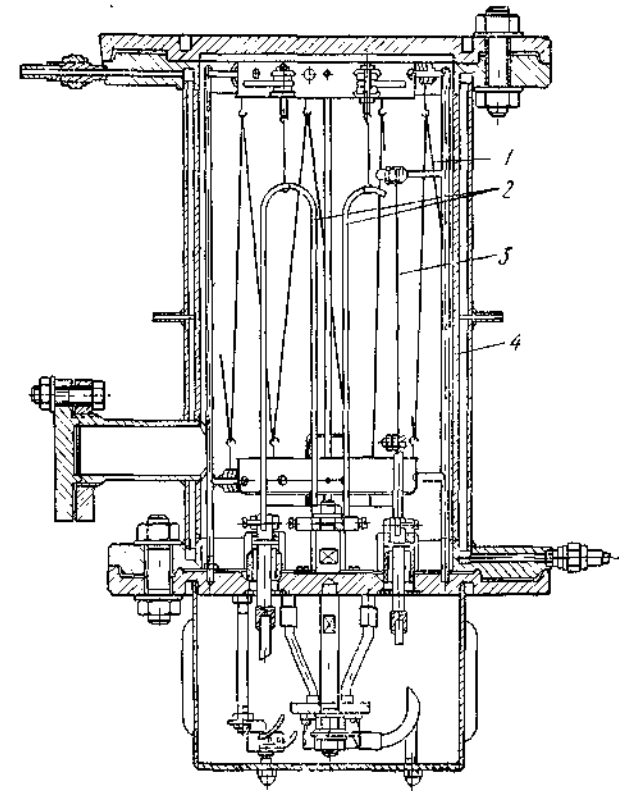


Рис. 44. Устройство геттерно-ионного насоса ГИН-05М1:

1 — анод, 2 — испарители, 3 — вольфрамовый катод, 4 — корпус

Основным достоинством геттерно-ионных насосов является высокая скорость откачивающего действия по активным газам, приходящаяся на единицу поверхности напыленной пленки (до $2 \text{ л/с} \cdot \text{см}^2$), что позволяет

создать насосы с очень высокой скоростью откачивающего действия при сравнительно небольших габаритах.

Отечественная промышленность выпускает геттерно-ионные насосы со скоростью откачивающего действия 5—4500 л/с. Существуют конструкции таких насосов со скоростью откачивающего действия 100 000 л/с.

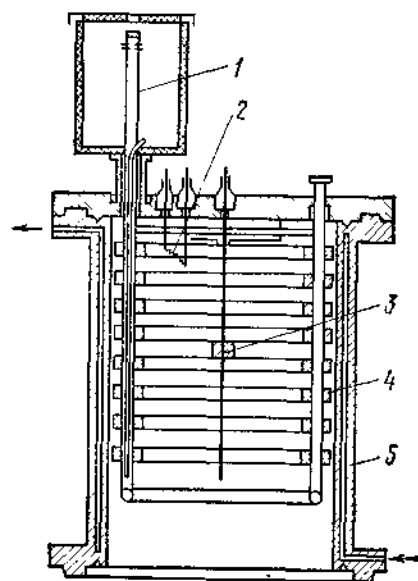


Рис. 45 Устройство геттерно-ионного насоса СОН-1-А орбитронного типа.
1 — питатель, 2 — катод, 3 — анод, 4 — медные кольца, 5 — корпус

Устройство насоса ГИН-05М1 показано на рис. 44. Рабочая часть насоса состоит из U-образных испарителей 2, вольфрамового катода 3, анода 1 и охлаждаемого водой корпуса 4. Испаритель изготовлен из титано-молибденовой проволоки диаметром 2 мм. Анод выполнен в виде сетки из молибденовой проволоки и служит одновременно прямоточным нагревателем для обезгаживания корпуса.

Скорость откачивающего действия геттерно-ионных насосов по инертным газам не превышает 2% от скорости их откачивающего действия по воздуху, что объясняется малой

эффективностью применяемых в этих насосах электростатических ионизаторов триодного типа.

К недостаткам геттерно-ионных насосов, препятствующим их широкому применению в промышленности, следует отнести: малую надежность в работе (главным образом из-за наличия горячего вольфрамового катода); ограниченный срок бесперебойной работы; сложность обслуживания; большое время запуска; большое время восстановления первоначального давления при кратковременном увеличении газовой нагрузки; низкую скорость откачивающего действия по инертным газам.

Геттерно-ионный насос орбитронного типа СОН-А-1 (рис. 45) отличается от насоса типа ГИН тем, что в нем использован более эффективный ионизатор орбитронного типа, а также предусмотрена дополнительная зона сорбции, охлаждаемая жидким азотом. В ионизаторе орбитронного типа электроны движутся от катода 2 к аноду 3 по эллиптическим спиралеобразным траекториям, что существенно увеличивает их путь и повышает вероятность ионизации откачиваемых газов. Под действием электронной бомбардировки титановый анод 3 разогревается и начинает испаряться. Пленки титана, осаждаемые на охлаждаемых жидким азотом медных кольцах 4 и на охлаждаемом водой корпусе 5, обеспечивают эффективную сорбцию активных газов, а в совокупности с орбитронным ионизатором — и более устойчивое связывание инертных газов. Предельное давление и скорость откачивающего действия зависят от режима работы. При скорости испарения Ti 0,2—0,5 мг/ч и охлаждения медных колец жидким азотом предельное давление может достигать 10^{-10} Па, а скорость откачивающего действия по воздуху — 500 л/с в диапазоне давлений 10^{-6} — 10^{-8} Па. Специфическим недостатком этого насоса является сравнительно большой расход жидкого азота — до 1,5 л/ч.

Магниторазрядные насосы

В магниторазрядных насосах молекулы откачиваемых газов ионизируются под действием холодного газового разряда, возбуждаемого между электродами насоса при определенных значениях приложенного к ним электрического и магнитного полей. Геттерный материал в этих насосах распыляется в результате ионной бомбардировки катодов, изготавливаемых чаще всего из титана.

В зависимости от числа рабочих электродов различают двухэлектродные (диодные) и трехэлектродные (триодные) магниторазрядные насосы. Схемы разрядных ячеек насосов диодного и триодного типов показаны на рис. 46.

Откачивающее действие диодного магниторазрядного насоса (рис. 46, а) можно объяснить следующими процессами, протекающими в рабочем режиме:

поглощением активных газов очищенными в результате ионной бомбардировки поверхностями титановых

катодов 1 благодаря адсорбции, растворению и образованию химических соединений;

внедрением ионов в материал катодов с последующей их диффузией;

поглощением газов пленками титана, напыленными на анод 2 и корпус насоса.

Механизм поглощения существенно зависит от рода откачиваемого газа. Если водород и другие активные газы (N_2 , O_2) откачиваются в результате действия всех

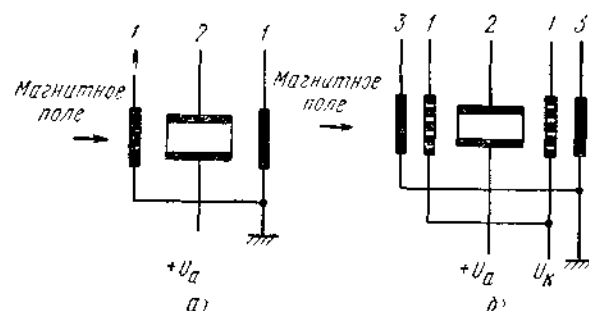


Рис. 46. Схемы разрядных ячеек магниторазрядных насосов:

а — диодного, б — триодного; 1 — катод, 2 — анод, 3 — дополнительный электрод

перечисленных выше процессов, то инертные газы откачиваются преимущественно за счет внедрения ионов в материал катода и, частично, вследствие внедрения нейтрализованных на катоде атомов инертных газов в титановую пленку, напыленную на анод. В соответствии с этим работа диодного насоса наряду с откачивающим действием сопровождается выделением инертных газов при распылении поверхностных слоев катода, обогащенных этими газами.

Скорость откачивающего действия диодных насосов по инертным газам не превышает 10% от скорости их откачивающего действия по воздуху, что связано с малой эффективностью использования ионов в этих насосах.

Триодные магниторазрядные насосы имеют скорость откачивающего действия по инертным газам, составляющую до 30% от скорости их откачивающего действия по

воздуху. Отличительной особенностью этих насосов (рис. 46, б) является наличие дополнительных электродов 3, находящихся под промежуточным потенциалом по сравнению с потенциалами катода — U_k и анода $+U_a$, и ячеистая форма катода. При соответствующем подборе размеров и формы ячеек катода часть распыляемого катодного материала осаждается на поверхность дополнительного электрода. Ионы откачиваемого газа, которые попадают на дополнительный электрод через ячейки катода, не обладают достаточной энергией для распыления напыленной пленки, и поэтому инертные газы, оказавшиеся на этой поверхности, не будут выделяться в процессе работы насоса.

В отношении откачивающего действия по активным газам триодные магниторазрядные насосы не имеют преимуществ перед диодными. Конструктивно насосы триодного типа отличаются от диодных большей высотой разрядной ячейки, что требует использования магнитов с большей магнитодвижущей силой. Диапазон рабочих давлений магниторазрядных насосов $1,33 \cdot 10^{-7}$ Па. В действительности этот диапазон значительно уже, так как при высоких давлениях, вплоть до $4 \cdot 10^{-3}$ Па, эффективность работы насоса очень низка. Это связано с тем, что при работе насоса в области давлений $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па в каждой разрядной ячейке выделяется значительная мощность (до нескольких ватт), которая в условиях неудовлетворительного естественного охлаждения электродов в вакууме приводит к их перегреву и интенсивному выделению поглощенных газов. Для улучшения рабочих характеристик магниторазрядного насоса вводят принудительное водяное охлаждение катодов или анода, что позволяет расширить верхний предел устойчивой работы с $4 \cdot 10^{-3}$ до $1,33 \cdot 10^{-1}$ Па, а давление запуска увеличить до 13,3 Па.

Отечественная промышленность выпускает серии магниторазрядных насосов диодного типа без охлаждения электродов (НЭМ) и с водяным охлаждением анода (НОРД), а также насосы триодного типа с принудительным охлаждением электродов (Трион) и без охлаждения электродов (МаРТ). На базе насосов серии НЭМ сконструированы агрегаты ЭРА (ЭРА-30-2, РА-100-2 и ЭРА-300-2). В качестве средств запуска магниторазрядного насоса в этих агрегатах используются два адсорбционных цеолитовых насоса ЦВН-1-2.

Триодный магниторазрядный насос Трион-150 имеет максимальную скорость откачивающего действия по воздуху (300 л/с) при охлаждении электродов (анода и дополнительных электродов) жидким азотом. При охлаждении электродов водой скорость откачивающего действия понижается до 130 л/с. Предельное давление насоса 10^{-9} Па (при охлаждении электродов жидким азотом).

В триодном магниторазрядном насосе МаРТ обеспечивается высокая скорость откачивающего действия по аргону: при максимальной скорости откачивающего действия по воздуху 30 л/с скорость откачивающего действия по аргону составляет 10 л/с.

Магниторазрядные насосы различных типов и сверхвысоковакуумные агрегаты на их основе применяют для безмасляной откачки ЭВП, в напылительных установках, в вакуумной металлургии и т. п.

К достоинствам магниторазрядных насосов следует отнести: простоту обслуживания и бесшумность работы; надежность работы и большой срок службы; быстрое восстановление работоспособности при прорывах атмосферного воздуха; пропорциональность разрядного тока насоса давлению в откачиваемом объекте, что позволяет использовать насос для измерения давления и контроля герметичности.

Основными недостатками магниторазрядных насосов являются: сравнительно малая скорость откачивающего действия по инертным газам, что влияет на состав остаточных газов в откачиваемом объекте; большое время восстановления первоначального давления при кратковременном увеличении газовой нагрузки (эффект памяти); необходимость в постоянных магнитах, которые затрудняют обезгаживание насоса; необходимость соблюдения особых мер предосторожности при обслуживании насоса из-за наличия высокого напряжения (до 7 кВ) на аноде; большое время запуска после длительного сообщения насоса с атмосферой; большая чувствительность к загрязнению парами органических веществ.

Из-за наличия так называемого эффекта памяти и малой скорости откачивающего действия по инертным газам применяют магниторазрядные насосы в различных комбинациях с насосами объемного или поверхностного действия. Хорошие результаты получаются при совместной работе магниторазрядного насоса с криогенным.

§ 35. КРИОГЕННЫЕ НАСОСЫ

Принцип действия криогенного насоса основан на конденсации откачиваемых газов и паров на его рабочей поверхности (криопанели), охлажденной до таких низких температур, при которых упругость паров конденсируемых газов не превышает требуемого предельного давления. В качестве хладагентов в криогенных насосах используют: жидкий водород (температура кипения 20 К) или жидкий гелий (температура кипения 4,2 К).

По способу охлаждения криопанели криогенные насосы могут быть: заливного типа; испарительного типа, в которых охлаждение криопанели осуществляется парами хладагента; встроенные в холодильные машины (криопанель в этом случае является частью холодильной машины); с автономным ожижителем (хладагент на криопанель подается непосредственно из ожижителя).

При температуре криопанели, равной 4,2 К, упругость паров гелия и водорода составляет соответственно $1,013 \cdot 10^5$ Па и $4 \cdot 10^{-6}$ Па, а упругость пара всех других веществ меньше 10^{-11} Па.

Для откачки водорода и гелия, имеющих при рабочих температурах криопанели высокие значения упругости пара, применяют вспомогательные насосы: магниторазрядные, диффузионные паромасляные с эффективной ловушкой и др. Теоретическая скорость откачивающего действия 1 см² поверхности криопанели составляет 11,6 л/с. В реальных конструкциях криогенных насосов эта скорость существенно ограничивается всевозможны-

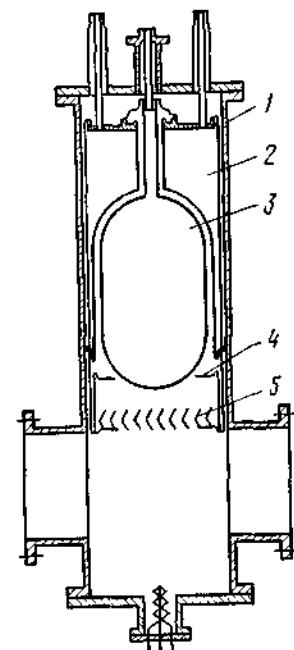


Рис. 47. Устройство криогенного насоса типа ГСВ-150:

1 — корпус, 2 — азотный экран, 3 — гелиевая криопанель, 4 — диафрагма, 5 — шевронный экран

ми антирадиационными экранами и заслонками, устанавливаемыми с целью снижения расхода хладагента и борьбы с переконденсацией. Переконденсация — это процесс перекачки газов с участков насоса с более высокой температурой (например, с экранов, охлаждаемых жидким азотом) на криопанель, имеющую наиболее низкую температуру. На рис. 47 представлена конструкция криогенного сверхвысоковакуумного насоса типа ГСВ-150 с малым расходом жидкого гелия.

В данной конструкции насоса уменьшение расхода жидкого гелия достигнуто благодаря хорошей теплоизоляции гелиевой криопанели 3 азотным экраном 2 и защиты ее от теплоизлучений со стороны откачиваемого объекта при помощи шеврона 5 и диафрагмы 4. Защита от переконденсации обеспечивается диафрагмой 4, которая экранирует криопанель, оставляя для откачки газов только нижнюю торцевую часть гелиевого бачка.

Техническая характеристика насоса ГСВ-150

Предельное давление, Па	не менее 10^{-10}
Скорость откачивающего действия в диапазоне давлений 10^{-2} — 10^{-9} Па, л/с:	
по азоту	250
по водороду	900
Максимальное пусковое давление, Па	$1,33 \cdot 10^3$
Емкость гелиевого бачка, л	7
Расход жидкого гелия, см ³ /ч	8
Расход жидкого азота, см ³ /ч	210
Емкость азотного экрана, л	7
Габариты насоса, мм:	
высота	1000
диаметр	200
Масса, кг	60

К достоинствам криогенных насосов можно отнести: простоту конструкции и надежность в работе; возможность изготовления насосов с практически неограниченной скоростью откачивающего действия; компактность и возможность установки непосредственно в откачиваемый объем; малое время запуска и получения предельного давления.

Основными недостатками криогенных насосов, ограничивающими их широкое применение в промышленно-

сти, являются: сложность и большая стоимость получения рабочих хладагентов; большой расход хладагентов; критичность к тепловым нагрузкам; необходимость в периодическом размораживании криопанели для очистки ее от сконденсировавшихся веществ.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируют средства получения вакуума?
2. Что такое предельное давление насоса и от чего оно зависит?
3. Какую роль выполняет масло в механических вакуумных насосах с масляным уплотнением? Какие требования предъявляют к маслам для механических вакуумных насосов?
4. Какие типы диффузионных пароструйных насосов вы знаете? Чем отличаются бустерные насосы от диффузионных высоковакуумных?
5. Что такое безмасляная откачка? Какие насосы обеспечивают безмасляную откачку?
6. Перечислите основные недостатки электрофизических насосов поверхностного действия.
7. Охарактеризуйте механизмы ионной и геттерной откачки в магниторазрядных насосах. Чем отличаются магниторазрядные насосы диодной и триодной конструкций?
8. На каком принципе основана работа криогенного насоса?

Глава VII. УСТРОЙСТВО ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

Вакуумная система представляет собой совокупность средств откачки, соединительных вакуумпроводов, ловушек, запорно-регулирующей аппаратуры, манометрических преобразователей и других элементов, необходимых для создания и поддержания требуемой степени разрежения в откачиваемом объекте. Создание и поддержание требуемого разрежения в объеме может быть выполнено вакуумной системой, если будет обеспечена достаточная герметичность, прочность и устойчивость элементов, хороший доступ к внутренним узлам отдельных элементов (разборность их конструкции).

§ 36. ВИДЫ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

Все многообразие существующих вакуумных систем можно классифицировать:

- по величине создаваемых предельных разрежений на вакуумные системы низкого, высокого и сверхвысокого вакуума;

- по виду основных средств откачки на вакуумные системы с диффузионными, турбомолекулярными, магнито-разрядными и другими насосами;

- по виду материалов, используемых для изготовления основных элементов, на металлические и стеклянные вакуумные системы;

- по распределению давления в системе на динамические и статические вакуумные системы.

Динамическая вакуумная система характеризуется неравномерным распределением давления в различных ее частях, причем перепад давления тем больше, чем дальше от средств откачки расположен данный элемент системы. Примером такой системы может служить практически любая промышленная или экспериментальная вакуумная установка.

Для статической вакуумной системы характерно равномерное распределение давления во всех ее элементах. Типичным примером статической системы является отпаянный электровакуумный прибор с собственными средствами измерения давления. Условия статической

системы можно получить и в динамической системе, если отсечь ее от средств откачки (например, с помощью крана) и выдержать до установления равновесного давления.

§ 37. ЭЛЕМЕНТЫ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

Все элементы, входящие в состав реальных вакуумных систем, можно условно подразделить на основные и вспомогательные.

Основные элементы системы непосредственно участвуют в создании и поддержании требуемой степени разрежения в откачиваемом объекте. В их число входят средства откачки, ловушки, запорно-регулирующая аппаратура (краны, затворы, вентили, клапаны), соединительные вакуумпроводы, средства измерения вакуума.

Вспомогательные элементы системы либо входят в состав основных элементов и обеспечивают их работоспособность, либо используются самостоятельно для решения задач, связанных с технологией обработки откачиваемого объекта. Вспомогательными элементами могут служить электрические и термопарные вводы, вводы движения, смотровые окна и т. п.

Ловушки

Ловушка, устанавливаемая в вакуумной системе вблизи входного фланца насоса, предназначена для улавливания паров рабочей жидкости насоса и снижения тем самым потока их проникновения в откачиваемый объект, а также для снижения упругости пара рабочей жидкости насоса и других паров путем их конденсации на ее рабочей поверхности, охлажденной до низкой температуры.

В зависимости от диапазона рабочих давлений различают ловушки для низкого, высокого и сверхвысокого вакуума.

По принципу действия ловушки подразделяются на конденсационные, или вымораживающие, адсорбционные, термосорбционные, или теплоэлектрические, ионные, полупроводниковые и механические (маслоотражатели).

Сверхвысоковакуумные системы оснащаются, как правило, многоступенчатыми конденсационными и реже адсорбционными ловушками, имеющими прогреваемые ступени.

Для работы в области высокого вакуума можно использовать различные ловушки: конденсационные, адсорбционные, термосорбционные, полупроводниковые и маслоотражатели. Конструкции некоторых высоковакуумных ловушек показаны на рис. 48.

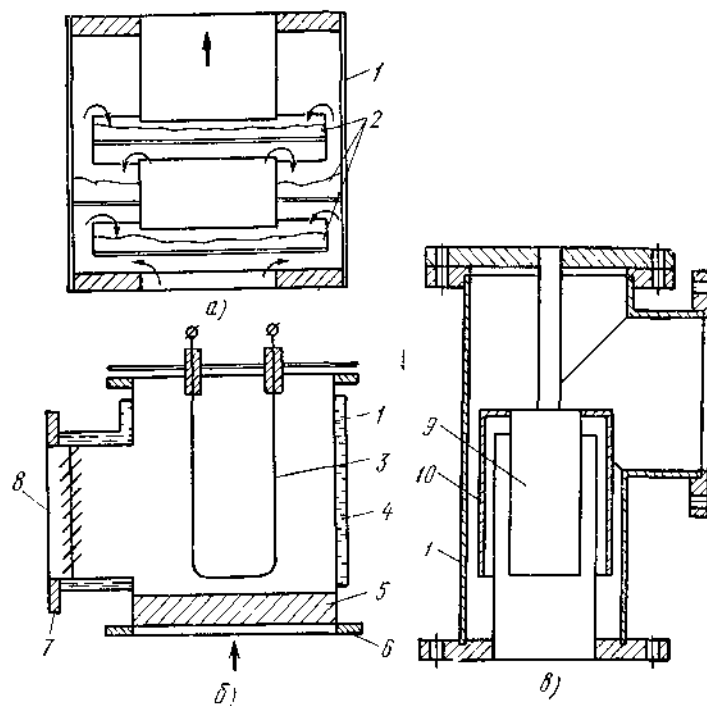


Рис 48 Схемы ловушек

а — адсорбционная, б — термосорбционная, в — конденсационная, 1 — корпус, 2 — кассеты с адсорбентом, 3 — испаритель, 4 — рубашка водяного охлаждения, 5 — термоэлементы, 6 — входной патрубок, 7 — выходной патрубок, 8 — тепловой экран, 9 — азотный бачок, 10 — охлаждаемый экран

В качестве адсорбента в адсорбционных ловушках используют цеолиты, активированный древесный или торфяной уголь, активированную окись алюминия, окислы железа (ржавчину). По способу охлаждения адсор-

бента эти ловушки подразделяются на неохлаждаемые и охлаждаемые (до температуры жидкого азота).

Маслоотражателями колпачкового типа оснащаются большинство выпускаемых промышленностью диффузионных паромасляных насосов.

Низковакуумные системы обычно снабжаются простейшими конденсационными, адсорбционными или ионными ловушками. Устройство ионной ловушки показано на рис. 49, а. В цилиндрическом корпусе 1 из немагнитного металла расположен анод 2, на который подается высокое постоянное напряжение (до 3,5 кВ) от выпрямителя 3. Соленоид 4 создает необходимое магнитное поле в рабочем пространстве ловушки. Свободные электроны от корпуса (катода) движутся к аноду под действием электрического поля по сложной траектории, которая определяется магнитным полем соленоида. Примерная траектория одного электрона показана на рис. 49, б. При своем движении к аноду каждый электрон многократно сталкивается с молекулами пара рабочей жидкости форвакуумного насоса и расщепляет их на осколки, одна часть которых откачивается насосом, а другая образует сложные углеводородные соединения с молекулами пара рабочей жидкости и конденсируется на стенках ловушки.

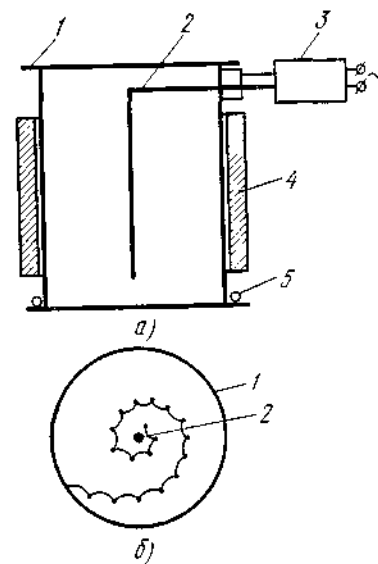


Рис 49. Схема ионной ловушки.

а — общий вид, б — траектория электрона в рабочем пространстве, 1 — корпус, 2 — анод, 3 — выпрямитель, 4 — соленоид, 5 — трубка водяного охлаждения

Ловушки рассмотренных выше конструкций имеют следующие недостатки: снижают эффективную скорость откачки объекта из-за ограниченной проводимости, не исключают возможности загрязнения системы и откачиваемого объекта парами рабочей жидкости насоса.

Запорно-регулирующая аппаратура

В состав запорно-регулирующей аппаратуры вакуумных систем входят всевозможные затворы, вентили, краны, клапаны и натекатели. Эти элементы имеют определенные конструктивные и функциональные различия между собой, однако в технической литературе один и тот же элемент зачастую называется и краном, и вентилем, и клапаном. По принципу их действия и назначения эти элементы различаются следующим образом.

Клапан — это быстродействующий элемент с ручным, электромагнитным или пневматическим приводом, выполняющий функции экстренной или скоростной коммутации вакуумной системы. Клапан полностью лишен

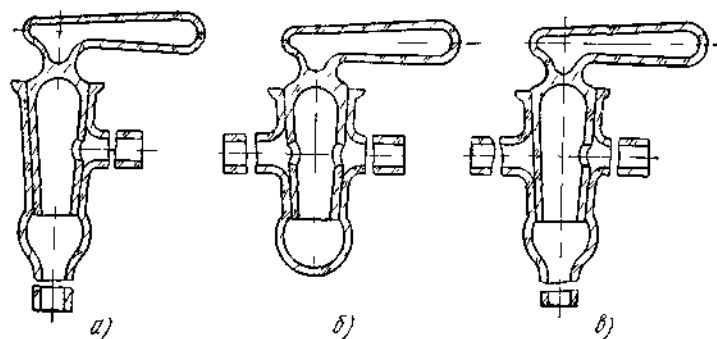


Рис. 50 Устройство шлифовых кранов
а — углового, б — проходного, в — трехходового

функций регулятора давления в вакуумной системе; он имеет только два основных положения коммутации: «Открыто» и «Закрыто».

Вентиль — это небыстродействующий элемент с ручным или электромеханическим приводом, способный выполнять функции регулятора давления в вакуумной системе. Кроме двух основных положений коммутации, вентиль имеет множество плавно изменяемых промежуточных положений.

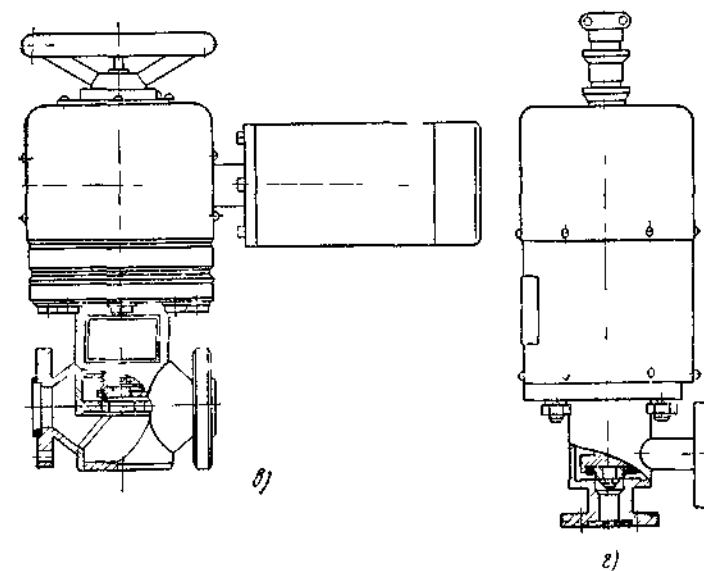
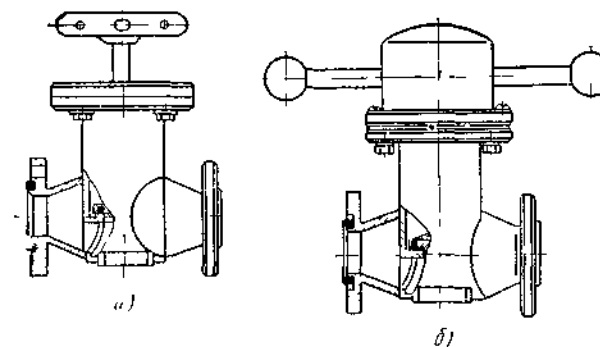


Рис. 51 Схемы запорно-регулирующих элементов для низковакуумных и высоковакуумных систем

а — ручной вентиль типа РП, б — ручной эксцентриковый клапан типа ЭР IV, в — вентиль с электроприводом типа ЭП 2, г — электромагнитный клапан типа МК

Затвор — это небыстродействующий элемент с ручным, электромеханическим или другим приводом, выполняющий в основном функции коммутации вакуумной системы. Как и клапан, затвор имеет два основных положения коммутации.

Натекатель — это небыстродействующий элемент с ручным или электромеханическим приводом, выполняющий исключительно функции регулятора потока напускаемых в вакуумную систему газов. От вентиля он отличается тем, что имеет очень малую проводимость даже в открытом состоянии.

Кран — это синоним вентиля. Условное разделение терминов «кран», «вентиль» и «клапан» по диаметру проходного сечения в вакуумной технике не имеет существенного значения.

Степень быстродействия зависит от времени срабатывания: если время срабатывания не более 1 с, то элемент быстродействующий, а если более 1 с — небыстродействующий.

В соответствии с принятой классификацией вакуумных систем запорно-регулирующая аппаратура по своему назначению подразделяется на низковакуумную, высоковакуумную и сверхвысоковакуумную, а по виду конструкционных материалов — на стеклянную и металлическую.

Запорно-регулирующая аппаратура, предназначенная для стеклянных вакуумных систем, выполняется в виде шлифовых соединений различного конструктивного оформления (рис. 50). Отличие низковакуумной, высоковакуумной и сверхвысоковакуумной запорно-регулирующей аппаратуры состоит в конструкции уплотнений и в материале используемых уплотнителей. Для низковакуумных и некоторых высоковакуумных систем характерно применение резиновых уплотнителей (рис. 51), а для сверхвысоковакуумных — исключительно металлических уплотнителей.

Вспомогательные элементы

Как и основные элементы вакуумных систем, вспомогательные элементы подразделяются на низковакуумные, высоковакуумные и сверхвысоковакуумные. Конструкции некоторых вспомогательных элементов

для низковакуумных и высоковакуумных систем схематически показаны на рис. 52—54.

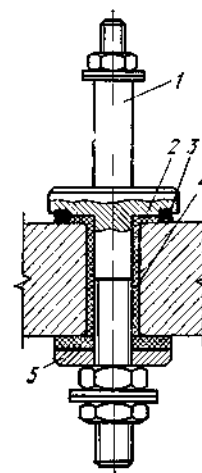


Рис 52 Токовый ввод:
1 — металлический стержень, 2 — изоляционная втулка, 3 — резиновый уплотнитель, 4 — изоляционная шайба, 5 — металлическая шайба

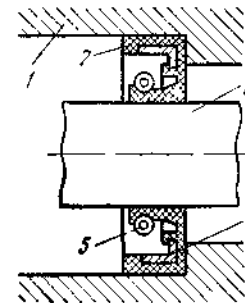


Рис 53 Уплотнение вращающегося вала.
1 — корпус, 2 — резиновая манжета, 3 — вал, 4 — металлическое кольцо, 5 — пружинное кольцо

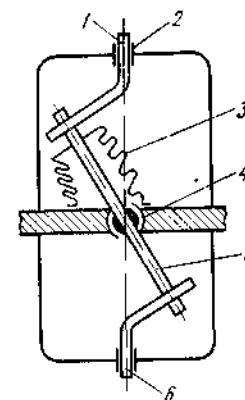


Рис 54 Ввод вращающегося вала в вакуум:
1 — вал, 2 — опора, 3 — шток, 4 — шарнир, 5 — вращающийся вал на атмосфере

§ 38. НЕРАЗЪЕМНЫЕ И РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

Неразъемные соединения

Неразъемные соединения элементов стеклянных вакуумных систем выполняют спаиванием различных пар стекло — стекло или стекло — металл (см. гл. III), а металлических систем — различными методами сварки или пайки.

Применение того или иного метода сварки зависит от материала и толщины свариваемых деталей (табл. 19).

Для пайки элементов вакуумных систем могут применяться мягкие или твердые припои.

Таблица 19

Методы сварки и области их применения

Метод сварки	Толщина свариваемых деталей, мм	Примерная область применения
Газовая ацетиленовая	1,5	Сварка малоуглеродистых и низколегированных сталей. Форма соединения — отбортовка (сварка встык не рекомендуется)
Электродуговая качественным электродом	2	Сварка малоуглеродистых и нержавеющих сталей. Форма соединения — стыковая, угловая, тавровая
Автоматическая под слоем флюса	3	Сварка малоуглеродистых и нержавеющих сталей для сверхвысоковакуумных систем
Электродуговая в защитной среде (аргонодуговая): плавящимся электродом	30	То же
неплавящимся электродом	2	Сварка нержавеющей сталей для сверхвысоковакуумных систем
в газонаполненной камере	0,5—6,0	Сварка нержавеющей сталей с присадочным материалом или оплавлением кромок, а также малоуглеродистых сталей с присадкой из нержавеющей стали марки Х18Н10Т
Шовная роликовая импульсная	3	Сварка сталей, кобальта, никеля, кобальта с малоуглеродистой или нержавеющей сталью
Электронно-лучевая в вакууме	0,1—0,5	То же
	0,05	Сварка всех металлов, включая и тугоплавкие. Габариты свариваемого узла ограничиваются размером вакуумной камеры сварочной установки

Пайку металлических деталей мягкими припоями (температура плавления не выше 450°С) проводят под слоем флюсов, что требует дополнительной очистки па-

яного шва от следов флюса. С помощью твердых припоев (температура плавления выше 450°С) проводят процесс пайки в вакуумных или водородных печах без применения флюсов. Марки и характеристика твердых припоев приведены в табл. 20.

Таблица 20

Характеристика твердых припоев

Припой	Температура плавления, °С	Температура пайки, °С	Зазор между деталями при температуре пайки, мм
Медь	1083	1100	0—50
Серебро	960	980—1000	0—45
ПСР-72	780	800	0—45
Медь—золото — индий (80-10-10)	740—875	900	0—45
ПСР-Мин-63	685—710	740	0—45
ПЗл-М37	970—990	1000	25—65
ПЗл-М94	960—1000	1020	25—65
Электролитически нанесенные слои припоев из чистых металлов (медь, серебро, никель)	—	—	15

Паяные соединения металлокерамических узлов чаще всего выполняют методом бесфлюсовой пайки в вакуумных или водородных печах с применением твердых припоев.

Разъемные соединения

Герметичность разъемных соединений элементов вакуумных систем обеспечивается с помощью различных уплотнителей. Вид уплотнителей определяется диапазоном рабочих давлений элемента и назначением вакуумной системы, в состав которой входит этот элемент.

Элементы низковакуумных систем, а также элементы форвакуумной магистрали в высоковакуумных и сверхвысоковакуумных системах соединяют между собой при помощи гибких шлангов (резиновых, металлических, полиэтиленовых и т. п.) или упругих уплотнительных колец (резиновых, фторопластовых и т. п.).

В высоковакуумных системах в зависимости от диапазона рабочих давлений применяют соединения либо на упругих, либо на металлических (алюминий, свинец, индий, медь) уплотнителях.

Употребление резиновых шлангов здесь недопустимо из-за большого газоотделения и высокой газопроницаемости резины. Для сверхвысоковакуумных систем характерно использование металлических уплотнителей: медь, алюминий, индий, золото.

По конструктивному исполнению различают бесфланцевые и фланцевые разъемные соединения.

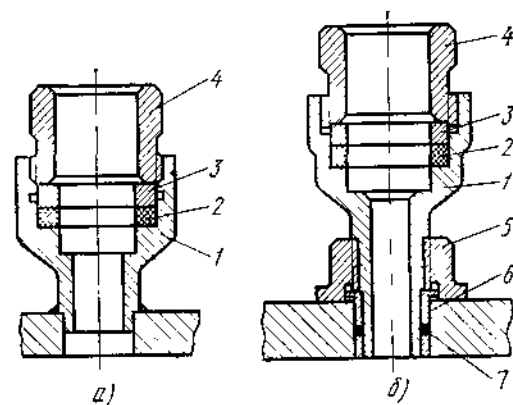


Рис 55 Схемы бесфланцевых грибковых соединений с резиновыми уплотнителями
а — неразборное, б — разборное, 1 — корпус, 2 — резиновая прокладка, 3 — промежуточное металлическое кольцо, 4 и 5 — гайки, 6 — втулка, 7 — резиновое кольцо

Бесфланцевые соединения выполняют с помощью резиновых шлангов, а также различных модификаций грибкового (рис. 55) или штуцерного соединений.

Фланцевые разъемные соединения в зависимости от назначения могут быть выполнены на упругих или металлических уплотнителях. На рис. 56 показаны схемы фланцевых соединений с резиновыми уплотнителями. Под уплотнительное кольцо прямоугольного сечения в одном из фланцев соединения вырезают прямоугольную канавку, а другой фланец оставляют гладким. Уплотнители прямоугольного сечения вырезают из листовой резины с помощью приспособления, показанного на рис. 57. Канавка во фланце предназначена для ограничения упругой деформации резины в нерабочем направлении. Для уплотнителей круглого и трапецидального сечения канавка во фланцах изготавливается профильной. Соеди-

нения с упругими уплотнителями работают надежно только при условии, если удельное давление на них при

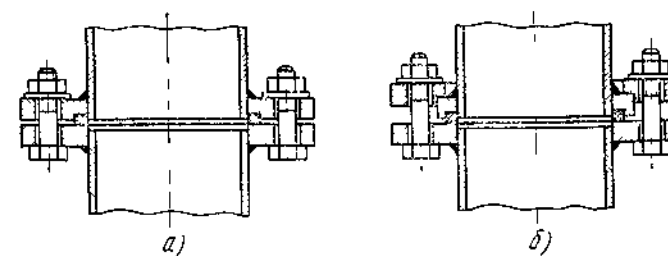


Рис 56 Схемы фланцевых соединений с резиновыми уплотнителями:
а — соединение с жесткими фланцами, б — соединение с поворотным фланцем

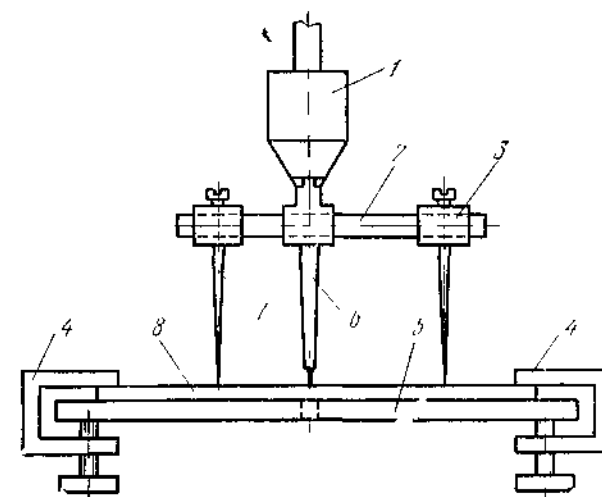


Рис. 57. Схема приспособления для вырезания резиновых уплотнительных колец прямоугольного сечения:
1 — патрон сверлильного станка, 2 — коромысло, 3 — хомут, 4 — струбцина, 5 — стол, 6 — центр, 7 — нож, 8 — листовая резина

сбалчивании фланцев не превышает максимально допустимых значений.

Конструкция некоторых фланцевых соединений с металлическими уплотнителями показана на рис. 58. Уплотнители из меди в зависимости от профиля уплотняющих

элементов фланцев выдерживают многократное нагревание до $450\text{--}800^\circ\text{C}$. Алюминиевые уплотнители также могут нагреваться до 450°C , однако после охлаждения до комнатной температуры их часто приходится дополнительно стягивать болтами из-за больших остаточных деформаций. Индиевые и свинцовые уплотнители нельзя нагревать выше 100°C .

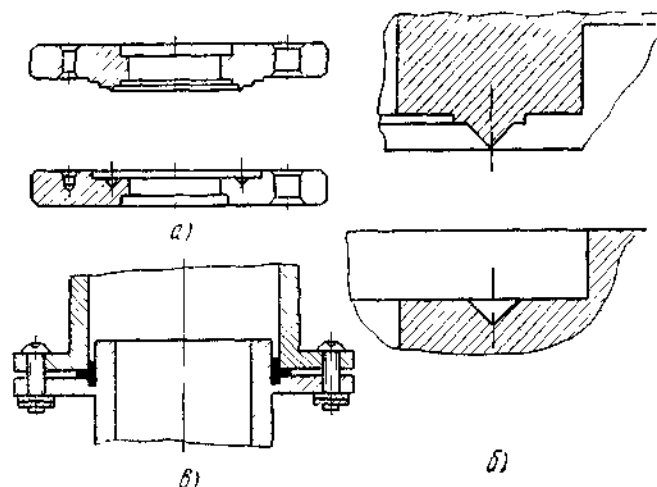


Рис 58 Схемы фланцевых соединений с металлическими уплотнителями

а — общие виды фланцев для канавочно-клинового уплотнения, б — оформление рабочих поверхностей канавочно-клинового уплотнения, в — уплотнение со свинцовой прокладкой

Наибольшее распространение в отечественной практике получили фланцевые соединения с канавочно-клиновым профилем уплотняющих элементов и медным уплотнителем.

§ 39. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

Требования к металлам и сплавам

Металлы и сплавы, применяемые для изготовления элементов вакуумных систем, помимо общих требований к конструкционным материалам, должны удовлетворять

дополнительным требованиям, а именно иметь: минимальное газосодержание и высокую скорость обезгаживания; высокую вакуумную прочность; минимальную пористость и газопроницаемость; высокую коррозионную стойкость, отсутствие взаимодействия с органическими маслами и растворителями, минимальную упругость пара при рабочей температуре; стабильность кристаллической структуры при длительном нагревании в интервале рабочих температур.

Газосодержание и скорость обезгаживания. Величина и длительность газоотделения того или иного металла в вакууме зависит от количества содержащихся в нем газов, т. е. от его газосодержания. Газосодержание металла определяется процессами физической адсорбции газов на поверхности, растворения их в объеме и образования химических соединений как на поверхности, так и в объеме металла. Количество адсорбированных металлом газов зависит от состояния поверхности (способа обработки, наличия окисных пленок и загрязнений) и условий хранения, а количество растворенных и химических связанных газов — от рода металла и способа его получения. Отсюда вытекают и основные способы снижения газосодержания металлов:

1. Улучшение качества механической обработки и очистки поверхности деталей с последующим хранением чистых деталей в сухой защитной атмосфере.

2. Применение металлов вакуумной плавки; металлы, прошедшие многократную вакуумную переплавку, содержат небольшое количество газов.

Следует, однако, отметить, что переработка слитков вакуумной плавки обычными методами не всегда сопровождается снижением газосодержания конкретных изделий из-за загрязнения или окисления поверхности металла и поглощения им газов из окружающей среды при нагреве.

3. Предварительное термическое обезгаживание в вакууме, водороде или в среде инертного газа при максимально допустимой для данного металла температуре. Механизм термического обезгаживания металлов заключается в стремлении поглощенных металлом газов к равновесию с внешней средой. При уменьшении давления над металлом равновесие смещается в сторону выделения газов, металл обезгаживается) и, наоборот, при повышении давления над металлом равновесие смещается

в сторону поглощения газов. Повышение температуры металла действует на это равновесие по-разному, так как одна группа металлов увеличивает растворимость газов с ростом температуры, а другая — уменьшает ее. Величина максимальной температуры предварительного обезгаживания металлов устанавливается с учетом требований к сохранению формоустойчивости детали, структуре металла и обеспечению малой скорости и его испарения.

4. Термическое обезгаживание в процессе эксплуатации вакуумной системы.

Металлы и сплавы выделяют при обезгаживании H_2 , CO , N_2 , CO_2 , O_2 , CH_4 и H_2O , причем из них только H_2 , N_2 и O_2 выделяются из объема металла, а остальные либо десорбируются с поверхности, либо образуются на ней в результате взаимодействия растворенных газов (H_2 , O_2) и примесей (C и т. п.).

Скорость обезгаживания металлов возрастает с увеличением температуры, что объясняется повышением скорости выделения растворенных в металле газов и примесей. В общем случае скорость обезгаживания зависит от газосодержания металла и коэффициента диффузии газов и примесей из объема детали на поверхности при заданной температуре нагрева.

Требования к металлам по газосодержанию и скорости обезгаживания устанавливаются обычно в соответствии с областью рабочих давлений элементов вакуумной системы. К металлам для элементов низковакуумных систем не предъявляется высоких требований по газосодержанию и газоотделению. Элементы этих систем, как правило, не обезгаживаются в процессе эксплуатации вакуумной установки. Наоборот, металлы для высоковакуумных и особенно сверхвысоковакуумных систем должны удовлетворять высоким требованиям по газосодержанию и газоотделению. Для этих систем выбирают металлы с минимальным газосодержанием и большой скоростью обезгаживания.

Вакуумная прочность. В связи с возросшими требованиями к надежности вакуумных систем откачного оборудования особое значение приобретает вакуумная прочность электровакуумных материалов. Необходимость данного требования вытекает из того, что металлические детали конкретных вакуумных систем (в том числе и электровакуумных приборов), находящиеся под постоян-

ной нагрузкой (вызванной, например, разностью КТР сочленяемых деталей), теряют свою герметичность задолго до прочностного разрушения. Нагрев деталей значительно усугубляет этот процесс. В зависимости от рода материала, условий работы и конструктивных особенностей деталей потеря их герметичности может наступить от 2 до 20 раз быстрее прочностного разрушения.

Газопроницаемость металлов. Под газопроницаемостью понимают процесс диффузионного проникновения газов из внешней среды в вакуумный объем через оболочку металлической детали. Газопроницаемость — результат последовательного действия следующих процессов: 1) адсорбции газов из окружающей среды на поверхности металла; 2) диссоциации (разложения) молекул газа на атомы на поверхности металла; 3) растворения атомов газа в металле; 4) диффузии атомов газа через толщину металла к поверхности, обращенной в вакуумный объем; 5) рекомбинации атомов газа на внутренней поверхности металла и десорбции молекул газа в вакуумный объем.

Величина газопроницаемости зависит от рода газа, материала и размеров детали, температуры металла и давления газа. Наибольшей проницаемостью через металлы обладает водород, далее по степени уменьшения проницаемости идут азот и кислород.

Характеристика металлов и сплавов

Рассмотрим некоторые наиболее распространенные металлы и сплавы, используемые для изготовления элементов вакуумных систем.

Медь. Температура плавления меди $1083^\circ C$, плотность $8,94 \text{ г/см}^3$. Для изготовления элементов вакуумной системы используются наиболее чистые сорта меди МО, МІ, МБ (бескислородная) и МВ (медь вакуумной плавки). Широкое применение меди в вакуумной технике обусловлено ее высокой пластичностью, высокой электро- и теплопроводностью, малым газосодержанием, низкой газопроницаемостью и хорошей обрабатываемостью.

К недостаткам меди следует отнести высокую окислительную способность и склонность к изменению структуры при высоких температурах.

Сплавы меди. Сплав меди с цинком — латунь находит ограниченное применение в вакуумной технике из-за

высокой скорости испарения цинка при нагревании в вакууме. Для изготовления мелких деталей, не подвергающихся нагреву в вакууме, рекомендуются следующие марки латуни: Л62, ЛС59-1.

Из сплавов меди с оловом и другими материалами, именуемых *бронзами*, для изготовления деталей вакуумных систем рекомендуются такие, которые не содержат в своем составе олова и цинка. Бериллиевая бронза марки БрВ2 применяется при изготовлении пружин, шестерен и электроконтактов, а алюминиевая бронза марки БрА5 — при изготовлении подшипниковых втулок. Хромистая бронза марки БрХ08 обладает хорошей свариваемостью и может с успехом заменить медь в сварных конструкциях. Кремниймарганцовистая бронза марки БрКМц3-1 и хромистая бронза используются как прищадочный материал при сварке меди.

Никель. Температура плавления никеля 1452° С, плотность 8,85 г/см³. Применяется никель марки Н0 и Н1 для изготовления тепловых экранов, гальванических покрытий и небольших внутренних деталей элементов вакуумных систем. Ограниченное применение чистого никеля в вакуумной технике обусловлено главным образом его низкой формоустойчивостью.

Сплавы никеля. Сплав никеля с кобальтом — *ковар* марки 29НК используется для изготовления согласованных спаев металл — стекло и металл — керамика в различных элементах вакуумной системы. Для изготовления термопарной проволоки применяются сплавы никеля: *хромель* (НХ9,5), *алюмель* (НМцАК-2-2-1), *копель* (НМ56,5). Нихром марки Х20Н80 широко используется для изготовления спиральных и ленточных нагревателей.

Алюминий. Температура плавления алюминия 660° С, плотность 2,7 г/см³. Для изготовления уплотнительных прокладок, экранов и паропроводов диффузионных паромасляных насосов используется алюминий марок АД-1М и АМц. Более широкое применение алюминия в вакуумной технике ограничивается плохой свариваемостью и паяемостью его с другими металлами и низкой температурой плавления. К достоинствам алюминия можно отнести хорошую полируемость и малую газопроницаемость.

Индий. Температура плавления индия 156° С, плотность 7,31 г/см³. Применяется индий для изготовления уплотнителей элементов высоковакуумных и сверхвысо-

ковакуумных систем. К достоинствам индия следует отнести его высокую пластичность, мягкость и низкую упругость пара, а к недостаткам — низкую температуру плавления и высокую стоимость.

Железо и его сплавы. Чистое железо, имеющее температуру плавления 1535° С, практически не применяется для изготовления элементов вакуумных систем, что вызвано его большой газопроницаемостью, высокой стоимостью, малой формоустойчивостью и плохой обрабатываемостью резанием. Из сплавов железа наибольшее применение нашли *малоуглеродистые конструкционные стали* и *нержавеющие хромоникелевые стали*. Малоуглеродистые стали марок 08, 10, 15, 20 используются для изготовления корпусов и внутренних деталей элементов низковакуумных и высоковакуумных систем; они хорошо свариваются и хорошо паяются мягкими и твердыми припоями. Для изготовления резьбовых и других нагруженных деталей вакуумных систем рекомендуется высокоуглеродистая сталь марки 45.

Нержавеющие стали марок Х18Н10Т, 00Х18Н10, 0Х18Н10Т, 0Х18Н12Б являются наиболее распространенными конструкционными материалами высоковакуумных и сверхвысоковакуумных систем. К достоинствам нержавеющей стали следует отнести хорошую свариваемость, высокую прочность, немагнитность, стабильность свойств в интервале температур от —80 до +900° С, а к недостаткам — низкую тепло- и электропроводность, высокое газовыделение при температурах выше 400° С. Для изготовления крепежных деталей нагреваемых элементов вакуумных систем рекомендуются нержавеющие стали марок 1Х21Н5Т и Х17Г9АН4.

Сплав на железо-никелевой основе марки ЭИ-828 используется для изготовления пружин, работающих при температурах до 750° С.

§ 40. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

В элементах различных вакуумных систем находят применение такие неметаллические материалы, как стекло, керамика, резина, фторопласт, смазки, замазки, лаки, клеи.

Многие требования, предъявляемые к металлам и

их сплавам, справедливы и для неметаллических материалов

Рассмотрим некоторые характеристики перечисленных выше неметаллических материалов

Стекло. Основные марки стекол отечественного производства, их свойства, назначение и способы обработки рассмотрены в гл. III

Керамика. Керамика, служащая в элементах вакуумных систем в качестве изоляторов, подразделяется по составу на силикатную, алюмооксидную и специальную. По сравнению со стеклом керамика обладает важными преимуществами: стабильностью многих физико-химических свойств в широком интервале температур: от 20 до 1000°С, более высокой механической прочностью, незначительной газопроницаемостью; меньшим газоотделением и более высокой термостойкостью

Состав выделяющихся газов (H_2O , CO_2 , H_2) при обезгаживании керамики аналогичен газоотделению стекла. Величина газоотделения определяется десорбцией газов с поверхности керамики и поэтому сильно зависит от ее состояния

В отечественной практике нашли применение следующие марки керамики: ЛФ-11, Ф-17, КВФ-4 (форстеритовая керамика) и брокерит-9 (специальная бериллиевая керамика).

Резиновые уплотнители. Техническая характеристика резиновых уплотнителей различных марок для разъёмных соединений приведена в табл. 21.

Существенным недостатком рассмотренных в табл. 21 резиновых уплотнителей является их большая газопроницаемость, которая примерно в 100 раз выше, чем проницаемость кварцевого стекла по гелию. Наибольшей проникающей способностью через эти материалы обладает водород. Далее по степени убывания проницаемости следуют гелий и азот. Для удаления жидких продуктов газоотделения резины и снижения потока газоотделения по газообразным продуктам проводится их предварительное обезгаживание в вакууме ($P = 1,33$ Па) в течение 10—50 ч

Фторопласт-4. Фторопласт — это кристаллический полимер тетрафторэтилена с температурой плавления 327°С и плотностью около 2,2 г/см³. В отличие от резины фторопласт-4 обладает более высокой термостойкостью, большей морозостойкостью (—110°С), меньшим

Таблица 21

Характеристика резиновых уплотнителей					
Наименование показателей	Параметры резинит марок				
	7899	9024	ИРП-1015	ИРП-1368	ИРП-2043
Тип каучука	НК	МКН-26	СКН-40	СКВТ-1	СКФ-26
Максимальная рабочая температура в вакууме, °С	+70	+70	+70	+250	+200
Минимальная рабочая температура в вакууме, °С	—30	—30	—25	—50	—30
Стойкость по отношению к маслу и бензину	Нестойкая	Маслобензостойкая	Маслобензостойкая	Нестойкая	Маслобензостойкая
Характеристика продуктов газоразделения: твердый (тв), жидкий (ж), газообразный (г)	Тв., ж., г.	Тв., ж.	Тв., ж., г.	Ж., г.	г.
Предел прочности при разрыве, кг/см ²	170	100	90	30	100
Удельная скорость газоразделения при максимальной допустимой температуре, л Па/с см ²	0,532 10 ⁻⁵	0,260 10 ⁻⁵	2,39 10 ⁻⁵	4,39 10 ⁻⁵	2,66 10 ⁻⁵
Газопроницаемость по азоту при 25°С, см ³ X X см/см ² с Па	7,5 10 ⁻¹³	0,7 10 ⁻¹³	0,4 10 ⁻¹³	231 10 ⁻¹³	0,4 10 ⁻¹³

удельным газовыделением, большей электрической прочностью, большей кислото- и маслостойкостью, но имеет меньшую эластичность и большую текучесть. Применяется фторопласт-4 для изготовления уплотнителей и изоляторов.

Смазки, замазки, лаки. Для обеспечения работоспособности некоторых элементов стеклянных вакуумных систем, а также для устранения обнаруженных течей в стеклянных и металлических вакуумных системах применяют различные смазки, замазки, лаки и другие синтетические материалы.

Смазки необходимы для уменьшения коэффициента трения трущихся поверхностей и повышения надежности герметичного перекрытия различных шлифовых соединений стеклянных вакуумных систем. Смазка должна иметь достаточно высокую вязкость, чтобы обеспечить герметичность шлифового соединения и достаточно низкую вязкость, чтобы осуществлять хорошую смазку трущихся частей шлифов. Применяемая в условиях низкого вакуума смазка типа Рамзая имеет упругость пара при комнатной температуре около 10^{-2} Па и максимальную рабочую температуру около 30°C .

Для смазки трущихся частей в условиях высокого вакуума применяют твердые слоистые смазки различных марок: графит, дисилицид молибдена (MoS_2), нитрид бора (BN) и т. п. или их композиции с металлами. Твердые слоистые смазки наносят тонким слоем на поверхности трения, а из их композиций с металлами изготавливают самосмазывающиеся элементы пар трения, например, сепараторы подшипников качения. Работоспособность твердых смазок сохраняется до 800°C .

Замазки служат для уплотнения нешлифовых соединений низковакуумных элементов стеклянных вакуумных систем. Они должны иметь высокую вязкость (близкую к консистенции пластилина), достаточно высокую рабочую температуру и низкую упругость пара. Используемое в качестве замазки хлористое серебро имеет температуру плавления 455°C . В качестве замазки применяется также пчелиный воск.

Лаки в основном используют для устранения обнаруженных течей в элементах вакуумных систем. В низковакуумных системах можно применять глифталевый лак с максимальной рабочей температурой около 200°C и упругостью пара при 20°C около $2,66 \cdot 10^{-2}$ Па.

Течи в высоковакуумных системах можно устранять с помощью различных кремнийорганических лаков с низкой упругостью пара при комнатной температуре. Кремнийорганический лак марки К-57 имеет максимальную рабочую температуру около 200°C и хорошо растворяется в бензине и ацетоне.

В высоковакуумных и сверхвысоковакуумных системах могут быть использованы олифа или эпоксидные смолы, имеющие максимальную рабочую температуру около 200°C , а также кремнийорганическая эмаль марки КО-87 с максимальной рабочей температурой около 500°C . Следует при этом отметить, что надежность устранения течи обратно пропорциональна величине течи.

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит вакуумная система?
2. Перечислите основные виды вакуумных систем.
3. Какие типы ловушек применяют в низковакуумных и высоковакуумных системах?
4. Какие элементы входят в состав запорно-регулирующей аппаратуры и как они различаются? Почему не допускается применять резиновые уплотнители в элементах сверхвысоковакуумных систем?
5. Назовите основные виды соединений элементов вакуумных систем.
6. Какие требования предъявляются к металлам и сплавам для элементов вакуумных систем? Какие виды неметаллических материалов применяют в вакуумных системах?

Глава VIII. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОТКАЧКИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

§ 41. ПОНЯТИЕ ОБ ОТКАЧКЕ

Откачкой называется процесс удаления газов из объема ЭВП и снижения скорости их выделения из внутренних элементов прибора, включая и оболочку, до величины меньшей или равной скорости поглощения этих газов обезгаженными внутренними элементами или геттерами. При этом, если процесс удаления газов из объема ЭВП не вызывает особых затруднений и длится (в зависимости от его объема) от десятков секунд до десятков ми-

нут, то процесс снижения скорости выделений газов из внутренних элементов прибора требует длительного их обезгаживания при высокой температуре. Состав и количество выделяющихся при обезгаживании ЭВП газов зависит от материалов, использованных для изготовления различных деталей приборов, от размеров этих деталей и температуры их обезгаживания.

Конечной целью откачки ЭВП является получение низких рабочих и остаточных давлений газов в объеме прибора. В большинстве современных ЭВП рабочее давление составляет 10^{-4} — 10^{-6} Па. Столь низкие давления в рабочем пространстве приборов необходимы для обеспечения их нормальной работы, т. е.:

- предотвращения окисления электродов и отравления активного покрытия катодов (особенно оксидных);

- достижения большой длины свободного пробега электронов, чтобы при полете электронов от катода к аноду не было их рассеивания под действием соударений с молекулами газа;

- снижения интенсивности ионной бомбардировки отрицательно заряженных электродов, вызывающей появление обратных токов с этих электродов или разрушение активного покрытия катода.

Состав остаточных газов в отпаянных приборах существенно влияет на их работоспособность и долговечность. Особенно критичны к составу остаточных газов ЭВП с оксидными катодами как вследствие взаимодействия активных газов с оксидным покрытием, так и ионной бомбардировки катода положительными ионами, образованными в результате ионизации остаточных газов потоком электронов от катода к аноду.

Технологические процессы откачки большинства ЭВП практически идентичны. Наблюдаемые на практике некоторые различия в процессах откачки обусловлены конструктивными особенностями приборов, характером их производства и применяемым откачным оборудованием. Так, в условиях единичного и мелкосерийного производства откачку ЭВП проводят на однопозиционных или многопозиционных откачных постах, а в условиях массового и крупносерийного производства — на откачных полуавтоматах, автоматах или машинных конвейерного типа. Некоторое влияние на процесс откачки оказывает тип катода в приборе (оксидный, металлический и т. п.) и материал оболочки прибора (стекло, металл).

Специфические особенности имеет так называемая бесштенгельная откачка ЭВП, которая в отличие от штенгельной проводится в специальной высоковакуумной камере без применения штенгеля.

§ 42. ОТКАЧКА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ НА ОТКАЧНЫХ ПОСТАХ

Особенности штенгельной откачки ЭВП на откачных постах

Для откачки ЭВП применяют откачные посты, оснащенные различными насосами: масляными (диффузионными паромасляными и т. п.) и безмасляными (магнеторазрядными, геттерно-ионными и т. п.). В качестве среды в объеме технологической камеры постов используют вакуум, нейтральную (N_2) или инертную атмосферу (Ar, He) и очень редко воздух. Наиболее благоприятной средой является вакуум, поскольку в вакууме обеспечивается возможность обезгаживания металло-стеклянных ЭВП при более высокой температуре, уменьшаются коррозионное растрескивание металла и проникновение активных газов (H_2 , N_2) или гелия (He) через материал оболочки. С уменьшением потока проникновения активных газов через материал оболочки ослабляется процесс образования микронапряжений в металле, приводящий к нарушению герметичности прибора. В тех случаях, когда не удастся использовать вакуумные технологические камеры (печи), применяют камеры, наполняемые инертным газом, чаще всего аргоном, прошедшим тщательную очистку от водяных паров и активных газов.

Подготовленный к откачке ЭВП присоединяется к вакуумной системе поста чаще всего через штенгель и поэтому такой способ откачки называется штенгельным.

Технологический процесс откачки ЭВП на откачных постах подразделяется на несколько этапов:

- 1) установка прибора на пост и нагрев его с заданной скоростью до максимальной температуры обезгаживания;

- 2) обезгаживание прибора при максимальной температуре;

- 3) обезгаживание и активирование катода в приборе;
- 4) отпайвание прибора.

Скорость подъема температуры для ряда ЭВП не превышает 60—100°С/ч, что связано с необходимостью обеспечить равномерный нагрев всех элементов прибора, исключить резкие термоудары на несогласованные спай металл-керамика или металл-стекло, а для приборов с оксидными катодами еще и поддерживать определенное давление в рабочем объеме с целью ограничения реакций, приводящих к отравлению оксидного покрытия.

Максимальная температура обезгаживания ЭВП зависит от материала их отдельных деталей (стекло, металл и т. п.), от способов их соединения и от материала активного покрытия катода. Время обезгаживания при максимальной температуре устанавливается для каждого типа ЭВП с учетом хода кривой общего газоотделения прибора во времени, требований по его долговечности и характеристик откачного поста.

Режим обезгаживания катода в приборе зависит от конструктивных особенностей оболочки прибора и катодного узла: от газосодержания и скорости газоотделения отдельных деталей катодного узла, от материалов и способов соединения элементов оболочки и катодного узла прибора и т. п. Наиболее сложным является технологический процесс обработки оксидных катодов, так как в большинстве ЭВП разложение связующего вещества (биндера) и карбонатного покрытия, а также частичное активирование оксидного покрытия проводится непосредственно во время откачки прибора.

Особенности обезгаживания и активирования оксидного катода

При разложении биндера, в качестве которого чаще всего используется нитроклетчатка $C_6H_8O_4[NO_2]_2$, и карбонатного покрытия $BaCO_3$, $SrCO_3$ и $CaCO_3$ из катода выделяются значительные количества газов. Нитроклетчатка разлагается при температуре 110—500°С с выделением газов CO_2 , NO_2 , NO , H_2O , CO , CH_4 , H_2 , N_2 и продуктов с высоким молекулярным весом. Неразложившийся остаток нитроклетчатки при температуре 600°С составляет примерно 5% от первоначального количества и состоит в основном из углерода. Из-за наличия уг-

лерода поверхность катода на этом этапе обработки приобретает серый цвет. В дальнейшем этот углерод участвует в процессе восстановления оксидов щелочно-земельных металлов оксидного покрытия и по мере его израсходования поверхность катода восстанавливает свой первоначальный белый цвет.

Разложение карбонатного покрытия, которое сопровождается выделением углекислого газа по реакции



и других газов: CO , H_2O , N_2 , образующихся в результате протекания побочных реакций, начинается при температуре выше 600°С и особенно интенсивно протекает при температурах от 800 до 1100°С. На этом этапе обработки катода осуществляется также активирование оксидного покрытия, заключающееся в создании большого количества избыточных атомов бария как в объеме покрытия, так и на его поверхности. Во время откачки ЭВП происходит только частичное активирование, окончательное активирование оксидного катода проводится при грешировке ЭВП.

Процесс активирования протекает под действием следующих факторов:

восстановления оксидов щелочно-земельных металлов активирующими присадками (Si , Mg , K , Al , Ti и др.) керна катода;

электролиза (электролитической диссоциации) оксидов щелочно-земельных металлов в результате прохождения электрического тока через покрытие (при обработке катода с токоотбором);

взаимодействия оксидов щелочно-земельных металлов с восстанавливающими газами и углеродом;

ионной бомбардировки поверхности катода при обработке его с токоотбором.

Непременным условием протекания процесса активирования является термическое разложение карбонатов с образованием оксидов щелочно-земельных металлов и выделения CO_2 .

Высокая температура при активировании оксидного катода приводит к вредным побочным явлениям, снижающим его эмиссионную способность:

дезактивации катода под действием термического испарения бария с поверхности катода;

росту зерна кристаллической структуры покрытия;

образованию на границе керн — оксидное покрытие промежуточного слоя с большим сопротивлением.

Низкая температура активирования оксидного катода приводит к некоторому росту сопротивления промежуточного слоя, что вызвано малой электропроводностью недоактивированного оксидного слоя.

Реакции, протекающие при разложении карбонатов и активировании оксидного покрытия в интервале температур 800—1100° С, представлены в табл. 22.

Таблица 22

Реакции, протекающие при обработке оксидного катода

Реакции, протекающие при обработке катода	Необходимая температура	Цель изменения температуры
Разложение карбонатов: $\text{MeCO}_3 \rightleftharpoons \text{MeO} + \text{CO}_2$	Высокая	Увеличение производительности откачки, полное разложение карбонатов
Взаимодействие карбонатов с кернами катода: $\text{MeCO}_3 + \text{Me}' \rightarrow \text{MeO} + \text{Me}'\text{O} + \text{CO}$	Низкая	Ускорение активирования и последующее уменьшение потерь бария
Активирование: $\text{MeO} + \text{Me}'' \rightarrow \text{Me} + \text{Me}''\text{O}$	Низкая	Уменьшение потерь металлического бария
Образование смешанных кристаллов оксидов: $\text{BaO} + \text{SrO} + \text{CaO} \rightarrow (\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca})\text{O}$	Высокая	Улучшение эмиссионных свойств катода
Окисление углерода, содержащегося в биндере: $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$	Высокая	Устранение потемнения оксидного слоя из-за неполного удаления углерода
Окисление металлических деталей в приборе углекислотой: $\text{Me}''' + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Me}'''\text{O} + \text{CO}$	Низкая	Уменьшение окисления деталей

Обозначения:

Me — щелочно-земельный металл (Ba, Sr, Ca)

Me' — металл керна катода

Me'' — металл, активирующий присадки к керну

Me''' — металл деталей прибора

Чтобы установить максимальную температуру обработки катода, необходимо прежде всего выбрать, какие из приведенных в табл. 22 реакций наиболее важны для данного прибора.

Помимо рассмотренных ранее вредных процессов, на эмиссионную способность оксидного катода влияет состав газов в объеме ЭВП. Активные газы O_2 , H_2O , CO_2 снижают его эмиссионную способность (отравляют оксидный катод) за счет окисления восстановленного при активировании бария. При этом отравление катода может быть либо необратимым, когда никакими дополнительными технологическими приемами не удастся восстановить его эмиссионную способность, либо обратным, когда путем дополнительной технологической обработки удастся частично или полностью восстановить его эмиссионную способность. Наибольшей отравляющей способностью обладает кислород; его отравляющее действие проявляется даже при самых низких давлениях и зависит от температуры и времени. Чем ниже температура катода, тем меньше давление O_2 требуется для отравления оксида. С ростом температуры время, необходимое для отравления катода, увеличивается, а время восстановления уменьшается.

Наряду с отравляющим действием кислород может оказывать и благоприятное воздействие, например, при выжигании углерода, оставшегося в оксидном покрытии после разложения биндера.

Водяные пары действуют на оксид отравляюще только при давлениях выше 10^{-3} Па. При меньших давлениях пары H_2O влияют на оксидное покрытие активирующе.

Углекислый газ (CO_2) обладает примерно вдвое меньшей отравляющей способностью, чем кислород. Кроме рассмотренных активных газов, в объеме ЭВП могут присутствовать другие газы: CO , H_2 , CH_4 , N_2 , Ar , He , а также галогены (Cl_2 , F_2), галогеноводородные соединения (HCl , HF), пары серы и различных металлов.

Оксид углерода CO является активирующим газом и играет важную роль в процессе активирования оксидных катодов с кернами без присадок. Воролд H_2 практически не влияет на эмиссию активированных катодов. Однако продукты реакции H_2 с оксидами металлических электродов ЭВП могут оказать отравляющее действие на оксид. Метан CH_4 при давлениях ниже $6,66 \cdot 10^{-3}$ Па является хорошим активатором оксидного катода. При больших давлениях действует на оксид отравляюще из-за отложения углерода на поверхности катода. Азот N_2 не влияет на эмиссионную способность оксидного катода.

да, вплоть до давления 10^{-1} Па, выше которого наступает обратимое отравление оксида.

Инертные газы Аг и Не не вступают во взаимодействие с оксидным покрытием и поэтому не влияют на эмиссионную способность катода. Галогены и галогеноводородные соединения, попадающие в объем ЭВП в виде загрязнений, необратимо отравляют оксидный катод. Отравляющее действие паров серы выше, чем кислорода. Источниками паров серы в приборах являются детали из слюды и окиси магния. Влияние паров различных металлов проявляется в виде напыления на поверхность катода, приводящих к потемнению оксидного покрытия и снижению его эмиссионной способности.

Дополнительное отравление катода может наступить под действием ионной бомбардировки оксидного покрытия при обработке его с токоотбором. Процесс отравления оксида в этом случае усугубляется электронной бомбардировкой анода и других положительно заряженных электродов прибора, в результате которой происходит диссоциация поверхностных загрязнений и окислов на этих электродах и обильное выделение вредных газов.

В производственных условиях откачки ЭВП приходится считаться с интенсивностью газоотделения его отдельных элементов и возможностью отравления оксидного покрытия активными газами при превышении их допустимых давлений. Поэтому в приборах с большим газоотделением внутренних элементов необходимая температура для обезгаживания и активирования катода поддерживается путем создания прерывистого режима накала, который обеспечивает достаточно низкое давление вредных газов в объеме прибора.

Обработка катода в приборе может проводиться либо по совмещенному режиму, когда обезгаживание катода проводится параллельно с обезгаживанием других элементов прибора при максимальной температуре, либо отдельно. Совмещенный режим обработки катода позволяет сократить общее время откачки прибора, однако применение его целесообразно только в тех случаях, когда конструкционные материалы катода и других элементов прибора имеют идентичную зависимость растворимости газов от температуры, а оболочка прибора выдерживает простот температуры, вызванный одновременным их нагреванием.

Контроль процесса откачки

Величина газоотделения приборов на различных этапах откачки оценивается с помощью двух параметров: динамического давления P_d в вакуумной системе поста и скорости газоотделения, замеряемой динамическими Q_d или статическими $Q_{ст}$ методами.

Для регистрации P_d вакуумные системы откачных постов (рис. 59) оснащаются различными датчиками общего давления: ионизационными (ЛМ-2, МИ-12-8), тепловыми (ЛТ-2, ЛТ-4М, МТ-6) и другими типами манометрических преобразователей. При максимальной температуре обезгаживания давление в вакуумной системе поста практически всегда меньше давления в откачиваемом приборе $P_{пр}$ вследствие сопротивления, оказываемого потоку газа штенгелем, внутренними коммуникациями прибора, вакуумпроводом поста между манометрическим преобразователем и штенгелем прибора, а также из-за разности температур газов в объеме откачиваемого прибора и в манометрическом преобразователе.

В зависимости от конструктивных особенностей прибора и вакуумной системы поста величины P_d и $P_{пр}$ могут отличаться во много раз (до 2—3 порядков), но пропорциональность между ними сохраняется практически на всех этапах откачки однотипных ЭВП. Эта пропорциональность может быть однажды установлена расчетным путем для каждого типа ЭВП, и на основе найденного соотношения величина P_d легко пересчитывается на давление в объеме прибора. Знание величины $P_{пр}$ особенно важно при откачке приборов с оксидными катодами, которые критичны к давлению различных газов в объеме прибора.

Для измерения потока газоотделения прибора динамическим методом используются калиброванные сопротивления: капилляр, диафрагма, заслонка и пневматический кран, вводимые в вакуумную систему откачного поста (рис. 60, а, б, в, г). Из всех перечисленных устройств наилучшими являются заслонка с ручным или электрическим приводом и пневматический кран, так как они позволяют менять величину сопротивления на различных этапах откачки либо путем изменения угла закрытия заслонки (рис. 60, в), либо путем измерения проходного сечения клапана (рис. 60, г). На первом эта-

пе откачки поток газоотделения прибора максимален и устройство для измерения должно иметь максимально возможную проводимость с тем, чтобы давление в объеме прибора от введения этого устройства увеличивалось незначительно. В конце второго и третьего этапов откачки поток газоотделения прибора минимален, и, чтобы обеспечить ощутимый перепад давления на калиброванном сопротивлении, устройство для измерения Q_d должно иметь минимально возможную проводимость.

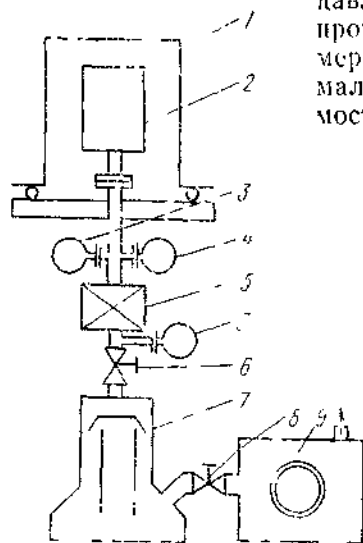


Рис. 59 Вакуумная схема откачного поста:

1 — технологическая камера (печь), 2 — изделие, 3 — манометрические преобразователи, 4 — масс-спектрометр, 5 — устройство для измерения потока газоотделения, 6 — высоковакуумные краны, 7 — диффузионный паромасляный насос, 8 — вентиль, 9 — форвакуумный насос

Пневматический кран позволяет изменять проводимость в широких пределах как в результате установки ограничителей на шток пневмоцилиндра, так и путем ограничения хода поршня пневмоцилиндра. Недостатком этого устройства является некоторое непостоянство проводимости при заданном ограничении хода, вызванное отсутствием фиксации угла наклона уплотняющего клапана. К недостаткам капилляра и диафрагмы следу-

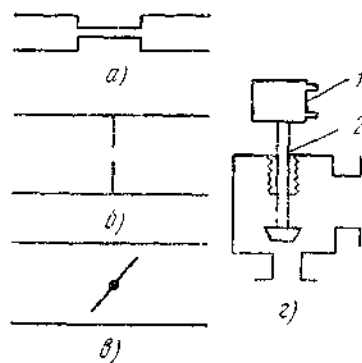


Рис. 60 Схемы устройств для измерения потока газоотделения динамическим методом:

а — калиброванный капилляр, б — калиброванная диафрагма, в — заслонка с ручным или электрическим приводом, г — пневматический кран с ограничителями хода штока, д — пневмоцилиндр крана, 2 — шток

ет отнести постоянство проводимости на всех этапах откачки, а заслонки — сложность фиксации заданного угла поворота и трудность обеспечения малых проводимостей из-за опасности ее заклинивания.

Величина Q_d рассчитывается по формуле

$$Q_d = U \Delta P_d, \text{ [Па} \cdot \text{л/с]}, \quad (64)$$

где U — проводимость калиброванного сопротивления, л/с; ΔP_d — перепад давления на калиброванном сопротивлении, Па.

Поток газоотделения прибора по отдельным составляющим спектра выделяющихся газов Q_i измеряется с помощью масс-спектрометрического датчика 4 (см. рис. 67). Расчетная формула для определения Q_i аналогична формуле (64).

$$Q_i = U_i \Delta P_i, \quad (65)$$

где U_i — проводимость калиброванного сопротивления по данному газу, л/с; ΔP_i — перепад парциального давления данного газа на калиброванном сопротивлении, Па.

Общий поток газоотделения прибора $Q_{\text{общ}}$ определяется путем сложения величин Q_i по всем выделяющимся газам.

Для измерения потока газоотделения прибора статическим методом $Q_{\text{ст}}$ используется высоковакуумный кран 6 (см. рис. 67) откачного поста. На определенных этапах откачки кран полностью перекрывается, и снимается зависимость изменения давления в замкнутом объеме от времени. Угол наклона начального участка полученной зависимости характеризует величину $Q_{\text{ст}}$

$$Q_{\text{ст}} = \frac{v \Delta P}{\Delta t}, \quad (66)$$

где v — замкнутый объем, включающий объем прибора и участка вакуумной системы поста между краном и датчиком прибора, л; ΔP — перепад давления на выбранном участке полученной зависимости, Па; Δt — время регистрации перепада давления ΔP , с.

Величины Q_d и $Q_{\text{ст}}$ определяются всегда с погрешностью. Так, погрешность при определении Q_d зависит от состава выделяющихся газов и точности определения проводимости калиброванного сопротивления, а погреш-

ность при определении $Q_{ст}$ — от выбранной рабочей зоны на кривой изменения давления в замкнутом объеме v после перекрытия крана, от точности определения величины v , от герметичности перекрытия крана и состава выделяющихся газов. Однако для каждого типа ЭВП соотношение между $Q_{общ}$ и величинами Q_d или $Q_{ст}$ имеют вполне определенные значения, так как составы выделяющихся газов на всех этапах откачки однотипных приборов практически идентичны. Если эти соотношения определены при разработке технологического процесса откачки прибора, то в дальнейшем контроль процесса откачки можно вести только по значениям Q_d или $Q_{ст}$, для определения которых не требуется проводить трудоемкие масс-спектрометрические измерения.

Бесштенгельная и камерная откачка электровакуумных приборов

С целью обеспечения долговечности изготавливаемых приборов процесс откачки стремятся вести при давлении в объеме прибора не выше 10^{-3} — 10^{-4} Па, что особенно важно для приборов с оксидными катодами. Как известно, при откачке ЭВП через штенгель возможности уменьшения давления в объеме прибора ограничены недостаточно высокой скоростью удаления газов вследствие малой проводимости штенгеля, а в ряде случаев и из-за малой проводимости внутренних коммуникаций самого прибора.

Если скорость удаления газов из объема прибора ограничивается малой проводимостью штенгеля, то снижение давления в рабочем объеме достигается либо увеличением проводимости штенгеля, либо проведением процесса откачки без применения штенгеля (бесштенгельная откачка).

При малой проводимости внутренних коммуникаций прибора бесштенгельная откачка не позволяет существенно понизить давление в объеме прибора. В этом случае необходимо применить так называемую камерную откачку, при которой откачиваемый прибор расчленяется на две или более части таким образом, чтобы обеспечить максимальную скорость удаления газов из его внутренних полостей. В конце цикла откачки прибор в местах разъема сочленяют (герметизируют). Процесс камерной откачки более сложен, так как при сочленении

отдельных частей прибора необходимо сохранить заданные геометрические размеры его элементов и их относительное расположение.

При бесштенгельной откачке процесс герметизации практически не влияет на геометрию прибора.

К достоинствам камерной откачки следует отнести возможность расчленения прибора таким образом, что катод на время откачки будет изолирован от рабочего пространства прибора (например, при помощи заслонки). Такое расчленение прибора и раздельная обработка катода позволяют устранить напыление катодных материалов на рабочие поверхности прибора и обеспечить совмещенный режим обезгаживания катода и оболочки прибора независимо от их конструктивных особенностей.

Схемы бесштенгельной и камерной откачки ЭВП показаны на рис. 61, а и б.

Технологический процесс бесштенгельной и камерной откачки ЭВП идентичен процессу их штенгельной откачки за исключением этапа герметизации.

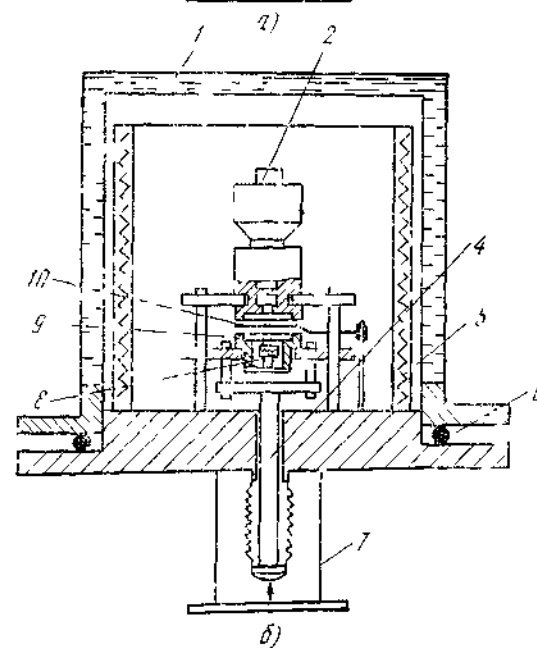
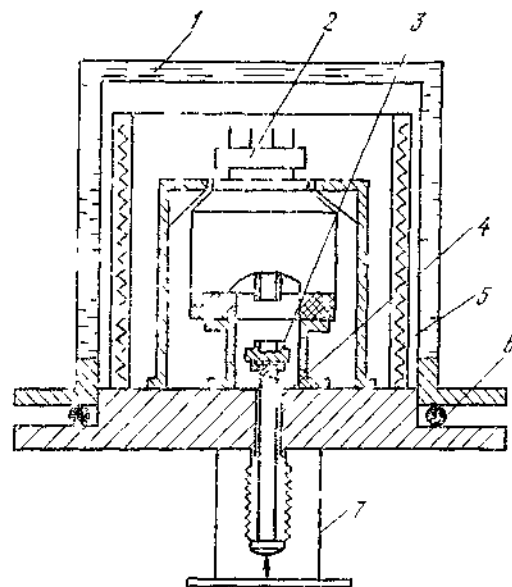
Поскольку в обоих случаях откачка прибора осуществляется без применения штенгеля, то иногда процессы камерной и бесштенгельной откачки условно объединяются одним общим названием — бесштенгельная откачка.

Особенности откачки мощного генераторного триода

Технологический процесс откачки мощного генераторного триода с оксидным катодом на откачном посту состоит из следующих операций:

- 1) установка прибора на пост и предварительная откачка;
- 2) обезгаживание прибора в печи при температуре 450°C ;
- 3) обезгаживание анода в пламени газовых горелок;
- 4) обезгаживание внутренней арматуры и газопоглотителя токами высокой частоты;
- 5) обезгаживание и активировка катода;
- 6) тренировка прибора с токоотбором (совмещена с операцией 5);
- 7) распыление газопоглотителя;
- 8) отпайка прибора.

Время откачки прибора составляет около 12 ч. Основные операции откачки, за исключением обезгажива-



ния прибора в печи и обработки внутренней арматуры токами высокой частоты, совмещены. Активирование оксидного катода проводится сначала в атмосфере восстановительных газов при температуре около 1100°C , а при генировке прибора с токоотбором — дополнительно путем электролитического разложения окиси бария под действием тока, проходящего через оксидное покрытие, и бомбардировки поверхности катода положительными ионами, образованными в результате ионизации газов в объеме прибора потоком электронов от катода к аноду. Скорость активирования катода под действием электролиза и ионной бомбардировки невелика, но для поддержания катода в активированном состоянии в процессе работы ЭВП их значение велико.

Детали и узлы генераторного триода подвергают тщательной предварительной обработке в водородных и вакуумных печах. Остекленный медный анод лампы обезгаживают в вакууме при 650°C на меди и 450°C на стекле.

§ 43. ОТКАЧКА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ НА ОТКАЧНЫХ МАШИНАХ

На откачных полуавтоматах и автоматах карусельного типа откачивают преимущественно массовые типы ЭВП: приемно-усилительные, маломощные генераторные и другие типы приборов. Откачку некоторых типов электроннолучевых трубок производят на конвейерных откачных машинах. Высокая производительность машинной откачки ЭВП обеспечивается в основном в результате увеличения числа откачных позиций и сокращения вспомогательного времени. Цикл откачки приборов на автоматах полностью автоматизирован, а на полуавтоматах вручную выполняют лишь операции загрузки и в ряде случаев отпайки и удаления штепселя из гнезда.

Моделью технологического процесса машинной откачки ЭВП является процесс откачки приборов на откачных постах.

Рис 61 Схемы откачки приборов

а — бесштенгельной, б — камерной, 1 — камера с водяным охлаждением, 2 — откачивающий прибор, 3 — заглушка, 4 — шток механизма герметизации, 5 — нагреватель, 6 — уплотнение камеры, 7 — трубопровод откачки камеры, 8 — катод прибора, 9 — расчлененная часть прибора, 10 — заслонка

Процесс откачки приборов на полуавтоматах характеризуется тактом и циклом откачки.

Тактом откачки называется время пребывания прибора на одной позиции полуавтомата плюс время поворота карусели на одну позицию, составляющее не более 10% времени такта. Общее время пребывания прибора на полуавтомате от загрузки до съема называется *циклом откачки*. Цикл откачки равен числу позиций карусели, умноженному на такт. В соответствии с этим технологический процесс откачки прибора разделяется на позиции откачки.

В качестве примеров рассмотрим режимы откачки: приемно-усилительных ламп (ПУЛ) массового применения и повышенной долговечности; генераторных ламп средней мощности, электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), газоразрядных приборов.

Откачка приемно-усилительных ламп ПУЛ

Основные операции откачки ПУЛ и их последовательность приведены в табл. 23.

Рассмотрим кратко особенности технологического процесса откачки ПУЛ массового применения.

Операции обезгаживания колбы, арматуры и катода совмещены, что позволяет сократить время тепловых обработок до 2—2,5 мин. За столь короткий цикл откачки удаляются лишь газы, адсорбированные на поверхности деталей лампы. Работоспособность таких приборов в течение срока службы обеспечивается предварительным отжигом деталей в водородных или вакуумных печах и применением эффективных распыляемых газопоглотителей.

Операция обезгаживания и активирования катода интенсифицирована и протекает при значительном перекале (до $1,4 I_n$).

Оболочка прибора обезгаживается только в результате теплоизлучения анода, нагретого до 800—850°С.

Газопоглотитель распыляется после отпайки лампы на отдельном полуавтомате.

Режим откачки ПУЛ повышенной долговечности обеспечивает более глубокое обезгаживание деталей лампы как в результате увеличения времени откачки, так и путем интенсификации режимов предварительного отжига деталей в водородных или вакуумных печах.

Таблица 23

Последовательность операций при откачке приемно-усилительных ламп на полуавтоматах

Последовательность операций	Обезгаживаемый элемент прибора	Температура обезгаживания, °С	Общие указания
Установка прибора в гнездо полуавтомата	Колба	250	Не допускать остывания колбы после заварки
Предварительная откачка и контроль герметичности	Колба	250	Проверить надежность работы механизма отключения позиций, используя колбы с трещинами
Обезгаживание оболочек в печи	Колба	370	Не допускать нагрева гнезд. Низ печи должен иметь прорезь для прохода штенгеля
Обезгаживание внутренней арматуры токами высокой частоты и первичное обезгаживание геттера	Анод Геттер	800	Применять стабилизаторы выходной мощности генератора. Контролировать окисление деталей прибора
Обезгаживание и активирование катода	Катод	Менее 950	Применять стабилизаторы тока. Ток накала увеличивать постепенно до 1,2 от номинального значения. Проверить полноту разложения карбонатов
Вторичное обезгаживание геттера	Геттер	Менее 900	Не допускать преждевременного распыления геттера
Отпайка прибора и удаление остатков штенгеля	Колба Анод Катод	250 600 500	Стремиться, чтобы температура колбы и деталей была наибольшей. Отпайка производить быстро

Обезгаживание и активирование катодов проводится при более низкой температуре, чем в ПУЛ массового применения, что приводит к уменьшению напыления материала активного покрытия на сетки и увеличению эмиссионной способности катода. Данные сравнительной оценки режимов откачки ПУЛ повышенной долговечности и массового применения приведены в табл. 24.

Из данных табл. 24 следует, что цикл откачки ПУЛ повышенной долговечности в несколько раз (в 3—6 раз)

Таблица 23

Сравнение режимов откачки ПУЛ повышенной долговечности и массового применения

Режим обезгаживания	Обезгаживание лампы в печи		Обезгаживание за счет излучения арматуры		Обезгаживание арматуры		Общее время обезгаживания	
	время	температура, °C	время	температура, °C	время	температура, °C	время	температура, °C
Лампа повышенной долговечности	2 мин 24 с	180—380	3 мин 36 с	400—450	3 мин 36 с	700—850	6 мин 6 мин	
Лампа массового применения	0	0	2 мин 0,8 с	400—450	2 мин 0,8 с	650—800	2 мин 0,8 с	1 мин 28 с

больше по сравнению с ПУЛ массового применения. Время откачки приборов на полуавтоматах регулируется путем перестройки привода карусели — изменяют время покоя карусели на каждой позиции. На рис. 62 показан пример графического изображения режима откачки усилительного пентода повышенной долговечности.

Технологический процесс откачки ПУЛ с металлической колбой имеет свои особенности. Поскольку внутренняя арматура таких ламп не может быть непосредственно нагрета токами высокой частоты, то нагрев ее ведут за счет теплоизлучения колбы, нагретой до высокой температуры (до 1100°C). Колба нагревается пламенем газовых горелок, а перегрев металлоглазной ножки предотвращается воздушным охлаждением. В этих условиях совмещенный режим обезгаживания арматуры и катода осуществить практически не удастся, а раздельная их обработка приводит к необходимости интенсифицировать режим обезгаживания и активирования катода (перекал до 1,5 I_n). Полочка газопоглотителя обезгаживается прямым пропусканием тока параллельно с обработкой катода. Учитывая большое га-

184

зоотделение катода, газопоглотитель разогревают очень медленно с тем, чтобы предотвратить отравление оксидного покрытия.

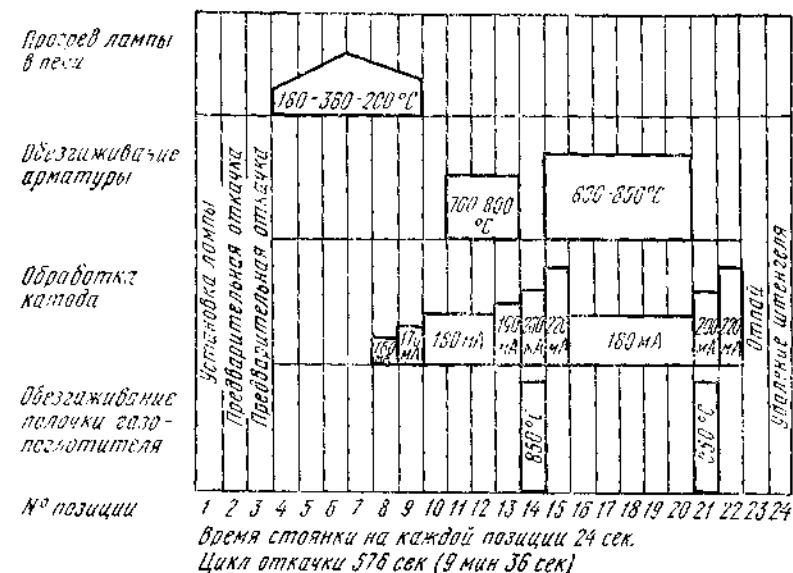


Рис. 62. Режим откачки усилительного пентода повышенной долговечности

Откачка генераторных ламп средней мощности

По сравнению с ПУЛ режим откачки генераторных ламп средней мощности имеет более длительный цикл тепловой обработки (до нескольких часов), что связано с высокими требованиями к величине остаточного давления в отпаянных приборах (не более 10^{-4} Па) и качеству обезгаженности их рабочих электродов.

Применительно к 36-позиционному полуавтомату основные операции откачки импульсного генераторного тетрода средней мощности распределяются по позициям следующим образом: 1 позиция — загрузка лампы; 2 позиция — предварительная откачка; с 3 по 13 позиции — обезгаживание лампы под печью при 200—250°C; 14 позиция — обезгаживание газопоглотителя; с 15 по 19 и с

25 по 33 позиции — обезгаживание арматуры токами высокой частоты; с 20 по 24 и с 27 по 28 позиции — обезгаживание и активирование катода; 34 позиция — обезгаживание газопоглотителя; 35 и 36 позиции — отпаивание лампы и удаление остатков штенселя.

Откачка электронно-лучевых трубок ЭЛТ

Технологический процесс откачки ЭЛТ состоит из следующих операций:

- подсоединение трубки к откачной позиции;
- предварительная откачка;
- обезгаживание колбы с покрытиями из аквадага и люминофора под печью;
- обезгаживание деталей электронно-оптической системы и полочки газопоглотителя токами высокой частоты;
- обезгаживание и активирование оксидного катода;
- электронная бомбардировка модулятора;
- отпаивание трубки.

При откачке ЭЛТ на 24-позиционном полуавтомате указанные операции распределяются по позициям следующим образом: 1 позиция — подсоединение трубки к откачной позиции; 2 позиция — предварительная откачка; с 3 по 23 позиции — обезгаживание колбы с покрытиями в туннельной печи при 370—460°С; с 17 по 23 позиции — обезгаживание арматуры и полочки газопоглотителя токами высокой частоты; с 17 по 23 позиции — обезгаживание и активирование катода в прерывистом режиме нагрева; с 20 по 23 позиции — электронная бомбардировка модулятора в прерывистом режиме; 24 позиция — отпаивание трубки.

Характерными особенностями режима откачки ЭЛТ являются: длительное обезгаживание колбы с покрытиями под печью, совмещение обезгаживания арматуры, полочки газопоглотителя и катода с электронной бомбардировкой модулятора и обезгаживанием покрытий колбы, прерывистый режим обработки катода и электронной бомбардировки модулятора.

Необходимость длительного обезгаживания колбы с покрытиями в туннельной печи вызвана большим газосодержанием покрытий из аквадага и люминофора. Максимальная температура обезгаживания колбы ограничивается температурой размягчения стекла, прочностью трубки, а также возможностью выгорания люмино-

фора, деформации экрана (что особенно важно для цветных кинескопов) и испарения материалов. Совмещенный режим обработки основных элементов ЭЛТ позволяет сократить цикл откачки и улучшить качество их обезгаживания. Прерывистый режим обработки катода и электронной бомбардировки модулятора необходим для поддержания низкого давления в объеме трубки с целью ограничения возможности отравления оксидного покрытия и повышения качества обезгаживания трубки.

Электронная бомбардировка является эффективным средством очистки рабочих электродов ЭВП от различных напылений и химических соединений, образовавшихся в процессе обезгаживания и активирования оксидного катода. Она может проводиться в непрерывном или импульсном режиме. Поскольку глубина проникновения электронов в металл, а следовательно, и степень очистки электрода увеличивается с ростом энергии бомбардирующих электронов, то предпочтение следует отдать импульсному режиму, позволяющему проводить обработку при более высокой энергии электронов.

Наличие токоотбора с катода при электронной бомбардировке модулятора способствует дополнительному активированию оксидного покрытия. Распыление газопоглотителя и окончательное активирование катода производится на этапе тренировки ЭЛТ.

Откачка газоразрядных приборов

Режимы откачки эквивалентных по мощности газоразрядных и вакуумных приборов очень близки. Так, режимы откачки маломощных газотронов и тиратронов имеют много общего с откачкой ПУЛ, а газотронов и тиратронов средней мощности — с генераторными лампами средней мощности и т. д.

Отличительной особенностью технологии откачки газоразрядных приборов является обязательное распыление газопоглотителя в конце цикла откачки и напуск газов или ртуты перед отпаиванием. Для напуска газов чаще всего используют стеклянную ампулу, предварительно наполненную газом до заданного давления. Ампулу с газом устанавливают в никелевую рамку и закрепляют на ножке прибора. Для разрушения ампулы в конце откачки никелевую рамку нагревают ТВЧ.

Необходимое давление для наполнения ампулы рассчитывается по формуле

$$P_a = \frac{v_d}{v_a} P_d \frac{T_{отп}}{T_d}, \quad (67)$$

где P_a — давление газа в ампуле; v_d — объем лампы; v_a — объем ампулы; P_d — рабочее давление газа в лампе; $T_{отп}$ — температура газа в ампуле в момент ее отпайвания; T_d — температура лампы в момент ее наполнения газом.

Основные виды брака откачки и способы их предупреждения

Основные виды брака откачки ЭВП и способы их предупреждения рассмотрены в табл. 25.

Особенности откачки электровакуумных приборов в металлокерамическом и металlostеклянном исполнении

Большинство металlostеклянных ЭВП присоединяется к вакуумной системе откачных постов посредством стеклянного штенгеля, который припаивается к стеклянной гребенке поста с помощью газовой горелки. Приборы со стеклянными штенгелями присоединяются к откачным гнездам карусельных машин с помощью различных механизмов уплотнения с ручным, механическим или автоматическим приводом, представляющих собой разновидности грибового уплотнения.

Металлокерамические приборы и некоторые типы металlostеклянных ЭВП, имеющие металлические (медь, алюминий) штенгели, присоединяются к вакуумной системе поста посредством фланцевого соединения с металлическими уплотнителями или уплотнением развальцованной трубки штенгеля под действием винтового или рычажного прижимного устройства.

На откачных машинах конвейерного типа присоединение приборов к вакуумной системе производится так же, как на откачных постах, поскольку каждая позиция такой машины представляет собой по существу индивидуальный откачной пост.

Технологические режимы откачки однотипных ЭВП в металlostеклянном и металлокерамическом исполнении

Таблица 25

Виды брака откачки

Наименование брака откачки	Предполагаемые причины брака	Влияние брака на работоспособность ЭВП	Способы предупреждения брака
1	2	3	4
Нарушение герметичности ЭВП	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большие остаточные напряжения в стеклянных элементах и спаих. 2. Неправильный подбор чистоты сплавляемых материалов. Неправильный отжиг и неудовлетворительная обработка отдельных узлов ЭВП. Недостаточная термостойкость спаев металл — стекло и металл — керамика. 3. Установлены на откачку заведомо натекающие ЭВП. 4. Нарушение режимов вакуумной обработки: быстрый нагрев и охлаждение, дополнительное термостатирование, превышение допустимых температур обезгаживания. 5. Неаккуратное выполнение операций отпайвания или откачки верхнего вывода ЭВП. 	<p>Приборы практически неработоспособны. Они либо выходят в окончательный брак (ПУД и другие приборы массового производства), либо подлежат повторной откачке после реставрации натекающих элементов (металлокерамические приборы СВЧ и др.).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тщательная обработка режимов изготовления отдельных элементов ЭВП, включая и режимы отжига. 2. Тщательная обработка конструкции спаев с целью обеспечения их высокой термостойкости и герметичности. 3. Правильная организация контроля герметичности отдельных узлов и подготовленных к откачке ЭВП. 4. Строгое соблюдение отработанных режимов откачки ЭВП. 5. Аккуратное и квалифицированное выполнение операций отпайвания и перетяжки верхнего ввода

Продолжение табл. 25

1	2	3	4
Брак по вакууму (высокое давление остаточных газов, недостаточная обезгаживаемость внутренней арматуры, наличие внутренних протечек)	1 Неудовлетворительная работа откачного оборудования: наличие течи в вакуумной системе; неисправность средств откачки; загрязнение вакуумной системы парами рабочих жидкостей насосов. 2 Потеря активности геттера из-за перегрева полочки при распылении газопоглопителя. 3 Нарушение температурных режимов обезгаживания и активирования катода: неполное разложение карбонатов и недостаточное обезгаживание катода. 4 Недоработка конструкций и дефекты сборки ЭВП — образование внутренних источников протекания.	Увеличивается время тренировки и испытания ЭВП и, как правило, изменяются рабочие параметры прибора. Такие приборы часто выходят в окончательный брак	1. Квалифицированное обслуживание и контроль работоспособности откачного оборудования. 2. Тщательная отработка и соблюдение режимов обезгаживания и распыления геттера. 3. Тщательное соблюдение температурных режимов обезгаживания и активирования катода. 4. Тщательная отработка конструкций ЭВП, направленная на исключение возможности образования источников внутреннего протекания
Брак по току эмиссии	1. Нарушение режимов обработки катода: недоактивирование катода, перегрев катода и связанные с этим процессы роста зерна кристаллической структуры оксидного покрытия и чрезмерного испарения Ва.	Изменяются рабочие параметры. При этом брак, связанный с недоактивированием катода, легко устраняется, а брак, связанный с остальными причинами, устранить трудно или практически невозможно	1 Тщательное соблюдение режимов активирования катода. 2. Тщательная очистка деталей ЭВП при сборке изделия и правильный контроль режимов откачки прибора и активирования катода

Продолжение табл. 25

1	2	3	4
Брак по рабочим параметрам	2 Оправление оксидного катода в результате взаимодействия его с активными газами (O_2 , H_2O , CO_2), поверхностными загрязнениями (Cl_2 , F_2 и др.) и напыленными металлическими пленками. Брак по рабочим параметрам происходит из-за брака по вакууму, току эмиссии и механическому браку, а также из-за дефектов в конструкции прибора	Снижение долговечности ЭВП, несоответствие параметров требованиям ТУ — окончательный брак	Определение и устранение тех видов брака, которые являются причиной брака по рабочим параметрам
Механический брак (разрушение или повреждение элементов оболочки ЭВП, деформация деталей внутренней арматуры, перегорание катодов или подогревателей)	1. Недостаточная прочность элементов оболочки ЭВП. 2. Нарушение технологии загрузки, съема и транспортировки ЭВП. 3. Перегрев катода на откачке. 4. Высокочастотные наводки в цепь накала катода. 5. Неравномерный нагрев, перегрева и высокая скорость нагрева или охлаждения арматуры	Образуется брак по рабочим параметрам. В большинстве случаев такие приборы выходят в окончательный брак 1. Тщательная отработка режимов изготовления отдельных элементов ЭВП, включая и режимы отжига.	1 Тщательная отработка конструкций ЭВП с целью обеспечения достаточной механической прочности и жесткости элементов ЭВП. 2. Соблюдение технологии загрузки, съема и транспортировки ЭВП. 3. Соблюдение режимов обработки катода и обезгаживания арматуры ТВЧ. 4. Соблюдение технологии откачки ЭВП

нии практически одинаковы, за исключением максимальной температуры обезгаживания оболочек и способов герметизации приборов. Максимальная температура обезгаживания стеклянной оболочки зависит от температурной зоны размягчения стекла и давления снаружи откачиваемого прибора (в песчи). Для большинства марок стекол, применяемых для изготовления колб ЭВП зона размягчения 500—600°С. Исключение составляет лишь молибденовое стекло марки С48-3, для которого эта зона расположена выше 800°С. В соответствии с этим максимальная температура обезгаживания большинства ЭВП со стеклянными оболочками в печах с газовым наполнением не превышает 400°С, а в вакуумных печах может быть увеличена до 450—500°С.

Особое место занимают приемно-усилительные лампы с металлической колбой, в которых путем принудительного (например, воздушного) охлаждения металло-стеклянной ножки температура обезгаживания колбы может быть увеличена до 1000—1100°С.

Максимальная температура обезгаживания оболочки для большинства ЭВП в металлокерамическом исполнении не превышает 600—650°С и ограничивается высокой скоростью испарения отдельных конструкционных материалов и припоев.

§ 44. ОТКАЧКА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ С ГАЗОПОГЛОТИТЕЛЯМИ

В ряде ЭВП для поглощения активных газов после отпаивания и в процессе срока службы применяются распыляемые или нераспыляемые газопоглотители (геттеры). Применение газопоглотителей во многом предопределило успех при внедрении машинной откачки массовых типов электровакуумных приборов.

В настоящее время геттеры используются и в производстве крупногабаритных ЭВП в металлокерамическом исполнении для решения таких задач, как снижение рабочего давления и сокращение продолжительности откачки.

Механизм поглощения активных газов распыляемыми и нераспыляемыми газопоглотителями идентичен и заключается в адсорбции, хемосорбции и растворении молекул или атомов газа материалом геттера.

Распыляемые газопоглотители представляют собой различные соединения на основе бария: бати (26% Ва, 14% Al, 60% Ti), альбани (27,5% Ва, 24,5% Al, 48% Ni), феба (стальная трубочка, заполненная барием).

Для процесса откачки ЭВП с распыляемыми газопоглотителями характерны операции обезгаживания и распыления геттера. Обезгаживание геттера обычно проводят одновременно с обезгаживанием внутренней арматуры прибора при температуре 800—900°С, а его распыление — в конце цикла откачки или после отпаивания при 900—1200°С. Иногда газопоглотитель распыляют в несколько приемов: в конце откачки, после отпаивания и в конце процесса тренировки ЭВП, что позволяет получить более активное геттерное зеркало на стекле колбы прибора.

Распыляемый газопоглотитель вводят в ЭВП в виде таблетки, закрепленной на никелевой полочке или впресованной в нее. При обезгаживании и распылении геттера в стеклянных ЭВП полочку газопоглотителя разогревают токами высокой частоты, а в приборах с металлической колбой и в металлокерамических ЭВП — непосредственным пропусканием тока через полочку, которая изготавливается из Мо в виде ленточки с углублениями для геттера. Нормальное бариевое зеркало, полученное на внутренней поверхности колбы, должно иметь равномерно черный или серебристо-черный цвет с резко очерченными краями. Если распыление геттера проводить в плохом вакууме, то барий окисляется и на напыленном зеркале появляются радужные кольца. В случае перегрева газопоглотителя при распылении бариевое зеркало получается рыхлым с размытыми краями.

К нераспыляемым газопоглотителям относятся различные активные металлы: титан, цирконий, торий, тантал и т. п., а также их сплавы (например, сплав Zr—Al «Циаль»). Нераспыляемые газопоглотители изготавливаются в виде конструктивных элементов ЭВП или вводятся в приборы в виде компактных деталей и геттерных блоков. В процессе откачки приборов нераспыляемые газопоглотители обезгаживаются при температуре 600—1100°С.

§ 45. СПОСОБЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ОТКАЧАННЫХ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Способы герметизации при штенгельной откачке

Электривакуумные приборы со стеклянными штенгелями отпаивают в конце цикла откачки при помощи газовых горелок вручную или механизмом отпая с автоматическим приводом. Отпаивание при помощи газовой

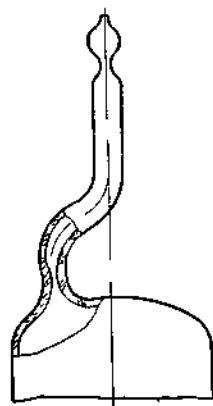


Рис. 63 Форма
стеклянного
штенгеля круп-
ного электрива-
куумного прибо-
ра

горелки заключается в равномерном разогреве штенгеля пламенем газовой горелки до размягчения стекла и в последующей оттяжке штенгеля до образования перемычки, которая затем пережигается пламенем горелки.

На штенгелях крупных ЭВП для удобства отпаивания делают специальную перетяжку, т. е. на участке отпаивания диаметр штенгеля уменьшают, а толщину его стенки увеличивают (рис. 63). Перед отпаиванием штенгель в зоне перетяжки обычно обезгаживают мягким пламенем горелки при температуре, близкой к температуре размягчения стекла. Однако проведение подобной операции мало эффективно, так как при температуре размягчения стекла из него начинают выделяться газы, связанные в структуре стекла.

Выделившиеся газы, количество которых пропорционально времени обезгаживания штенгеля, попадают в объем уже обезгаженной лампы и увеличивают давление в ней перед отпаиванием. Удалить эти газы путем увеличения времени откачки практически не удастся, поскольку при температуре размягчения стекла поток газовыделения из него мало изменяется во времени. Поэтому процесс отпаивания желательно проводить как можно быстрее без предварительного обезгаживания штенгеля.

Для отпаивания ЭВП с металлическими штенгелями используют механизмы холодной сварки с ручным или механическим приводом. Сущность процесса холодной

сварки заключается в том, что штенгель пережимают губками механизма герметизации при удельном давлении на штенгель из меди, равном 60—90 кГ/мм², а из алюминия 20—30 кГ/мм². В результате сближения атомов материала штенгеля возникает так называемая металлическая связь и образуется единая кристаллическая решетка. Контакт губок механизма герметизации осуществляется по плоскости или по линии, что обеспечивает перекусывание штенгеля в конце процесса отпаивания.

Методом холодной сварки отпаивают металлические штенгели Ø до 40 мм при толщине стенок 0,75—2 мм. Приборы с диаметром штенгеля до 15 мм могут быть отпаяны с помощью ручного механизма герметизации, имеющего форму клещей. Недостатком таких клещей является необходимость приложения значительных усилий оператора для создания необходимого удельного давления на штенгель при отпаивании.

Более удобны в этом отношении механизмы герметизации с электрическим или гидравлическим приводом. Механизмы герметизации с гидравлическим приводом выпускаются отечественной промышленностью двух типоворазмеров:

- 1) ИО 96.005 для диаметров штенгеля до 10 мм при толщине стенок 0,75—1,5 мм;
- 2) ИО 96.006 для диаметров штенгеля до 45 мм при толщине стенок 0,75—2 мм.

Процесс отпаивания ЭВП может осуществляться в широком интервале температур: от максимальной температуры обезгаживания до комнатной температуры. Исследования показали, что температура отпаивания приборов существенно влияет на прочность сварного шва штенгеля, на величину остаточного давления в отпаянном приборе, а в некоторых случаях и на степень обезгаженности внутренних элементов прибора.

Для создания максимальной прочности сварного шва процесс отпаивания лучше проводить при температурах, близких к максимальной температуре обезгаживания прибора. Минимальные значения остаточного давления в отпаянных приборах обеспечиваются в том случае, когда отпаивание производится при температурах ниже максимальной температуры их обезгаживания. Если процесс отпаивания проводить при температурах, близ-

ких к комнатной, то давление в отпаяваемом приборе может установиться на 1—2 порядка ниже, чем в вакуумной системе откачного устройства. Протекающий при этом процесс выравнивания давлений в приборе и вакуумной системе приводит к увеличению давления в отпаянном приборе, а миграция органических загрязнений из вакуумной системы откачного поста в прибор усугубляет этот процесс.

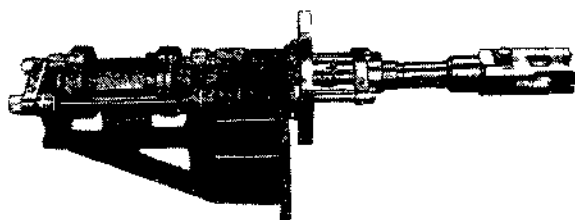


Рис. 64 Механизм герметизации, устанавливаемый в откачной пост

В соответствии с вышеизложенным температура отпайки каждого конкретного прибора должна быть максимально возможной с учетом потока газоотделения прибора при этой температуре и состояния вакуумной системы откачной машины или поста. Оптимальные температуры отпайки для некоторых ЭВП в металлокерамическом исполнении лежат в интервале 300—500°С. В тех случаях, когда отпайка ЭВП осуществляется при высоких температурах, а также когда откачка приборов проводится на постах с вакуумными или газонаполненными печами, рабочие элементы механизма герметизации вводятся непосредственно в объем печи. На рис. 64 показана конструкция механизмов герметизации, обеспечивающая отпайку приборов при температуре до 500—600°С. Гидравлический привод механизма герметизации выносится за пределы рабочего пространства печи.

Способы герметизации при бесштенгельной откачке

Герметизация ЭВП при бесштенгельной откачке может быть проведена термодиффузионной сваркой, пайкой различными припоями или сваркой электронным лучом. При пайке припоем ПСР-72 или другими высокотемпературными (твердыми) припоями, а также при термодиффузионной сварке температура отпайки ЭВП максимальна. Способ герметизации посредством сварки электронным лучом позволяет проводить отпайку при низких температурах.

Наиболее доступной и простой является герметизация методом термодиффузионной сварки. Термодиффузионная сварка заключается в том, что нагретые свариваемые детали сближают и создают необходимые удельные давления на участке сварки для образования металлической связи. Выдержка при температуре сварки необходима для ликвидации оставшихся микронесплошностей и несовершенств в плоскости контакта свариваемых деталей. Существенным недостатком термодиффузионной сварки является малая производительность процесса (сварка длится до 30—40 мин) и невозможность снижения температуры отпайки до оптимальных значений (сварку медных деталей проводят при температуре 600—650°С).

Наибольшую производительность процесса герметизации обеспечивает сварка электронным лучом, однако введение в рабочее пространство камеры устройств для создания и фокусировки электронного луча и устройств для управления им существенно ограничивает максимальную температуру обезгаживания прибора и усложняет процесс управления откачным постом.

Контрольные вопросы

- 1 С какой целью проводится откачка электровакуумных приборов? Назовите основные способы откачки.
- 2 Что такое совмещенный и несомещенный режим обезгаживания прибора? Перечислите основные этапы откачки ЭВП.
- 3 В чем заключается процесс активирования оксидного катода?
- 4 Какие параметры используются для контроля процесса откачки ЭВП и как они измеряются?
- 5 Охарактеризуйте особенности бесштенгельной откачки приборов.
6. В чем состоит особенность машинной откачки ЭВП?

7. Перечислите основные виды брака откачки и возможные причины их возникновения
8. Какую роль выполняет геттер в электровакуумных приборах?
9. Что такое распыляемый и нераспыляемый газопоглотитель и каков механизм их действия?
10. Назовите основные способы герметизации откачанных ЭВП при штенгельной и бесштенгельной откачке.
11. В чем состоит сущность холодной сварки металлического штенгеля?

Глава IX. ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЕ

§ 46. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВАКУУМНО-ТЕРМИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

Основной задачей десятой пятилетки является повышение эффективности производства, ускорение научно-технического прогресса, повышение качества выпускаемой продукции, что, в свою очередь, определяет необходимость совершенствования вакуумно-термического оборудования.

К современному технологическому оборудованию предъявляют следующие требования:

точное соблюдение и повторяемость технологических параметров обработки ЭВП;

возможность автоматического ведения процесса обработки изделий с применением ЭВМ или других устройств;

надежность и безотказность в работе;

соблюдение электронно-вакуумной гигиены и эргономики;

обеспечение безопасных условий труда обслуживающего персонала.

Повторяемость технологических параметров. Процесс откачки занимает от нескольких часов до нескольких суток. Длительное время необходимо для более полного удаления газов не только из объема прибора, но и из поверхностных слоев оболочки и рабочих электродов прибора.

В период откачки каждого изделия необходимо точно повторять контрольные величины параметров, дли-

тельно выдерживать их в допустимых значениях и изменять их согласно установленной программе, так как это воспроизводит заданные рабочие параметры изделия.

При обработке изделий на оборудовании с ручным управлением это входит в обязанности откачки-вакуумщика и требует очень большого внимания и умения. Очевидно, что повторяемость режимов обработки в этих условиях зависит от оператора.

В оборудовании с автоматическим управлением эти задачи выполняют программирующие устройства, и процесс обработки ведется по заданной программе. Повторяемость технологических параметров в этом случае значительно выше. Наиболее совершенное оборудование с управлением от электронно-вычислительных машин позволяет не только повторять заранее заданные значения контрольных величин, но и изменять их с учетом значений других параметров. Например, изменять скорость повышения температуры в зависимости от вакуума.

Автоматизация технологического процесса откачки. В настоящее время разработано новое откачное оборудование с автоматическим управлением, на базе которого на предприятиях создаются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) откачки. В электронной промышленности наибольшее применение нашли управляющие комплексы с электронно-вычислительными машинами «Электроника 100», которые управляют процессом откачки по предусмотренной программе. Блоки управляющего комплекса связывают ЭВМ с исполнительными механизмами откачных постов, а контролирующие приборы (датчики) также через блоки управляющего комплекса сигнализируют управляющей машине о состоянии технологического процесса (вакуум, температура, значения токов, напряжений) или о срабатывании исполнительных механизмов. Учитывая возможность быстро обрабатывать большую информацию, сохранять в «памяти» различные параметры ЭВМ в АСУТП не только могут выполнять функции оператора, но обладают гораздо большими возможностями по сбору статистических данных, по точности ведения и повторяемости технологических параметров и целому ряду других факторов. Применение автоматических систем управления позволяет объединять откачные посты в линии, участки (рис. 65), цехи, значи-

тельно увеличивать производительность, повышать качество изделий. При эксплуатации АСУТП откачки откачник-вакуумщик выполняет роль оператора не только в обслуживании откачного оборудования, но и всего комплекса систем управления.

Надежность и безотказность в работе. При работе оборудования в автоматизированном цикле требование

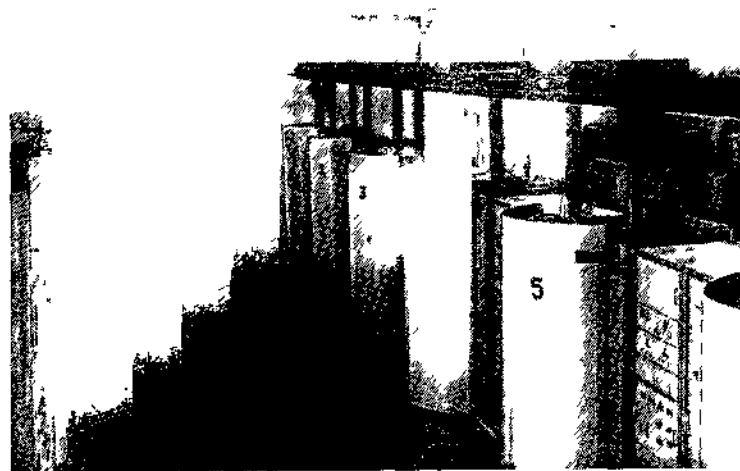


Рис. 65. Участок АСУТП откачки

по надежности и безотказности в работе часто является определяющим. Нетрудно представить себе, что самое совершенное оборудование окажется неработоспособным при отказе одного из его элементов. Надежность оборудования закладывается при его конструировании путем выбора элементов с наименьшим числом отказов, имеющих большой срок службы и определенный запас мощности. Наиболее ответственные элементы иногда дублируются, а электрическое питание таких элементов резервируется или осуществляется от двух независимых энергораспределителей с автоматическим переключением на резервный при отключении основного. В значительной

мере надежность работы оборудования зависит от условий его эксплуатации.

Откачник-вакуумщик должен не только представлять себе принцип действия оборудования в целом, но и знать устройство каждого элемента вакуумной части оборудования, уметь правильно ориентироваться при аварийных ситуациях, представлять физический смысл каждой технологической операции, чтобы своевременно принять соответствующие меры и предупредить нарушение технологического процесса.

Сложные автоматизированные системы управления не заменяют откачника-вакуумщика как специалиста, они помогают более точно выполнять технологические операции, сводить к минимуму ручной труд, повышать эффективность производства и качество выпускаемых изделий.

Требования электронно-вакуумной гигиены к оборудованию. К основным видам вакуумно-термического оборудования следует отнести: откачные посты, откачные машины, вакуумные печи.

Оборудование, механизмы, аппаратура, приспособления и другие средства, применяемые в производстве, должны отвечать требованиям электронно-вакуумной гигиены, как-то:

- обеспечивать безопасность при выполнении технологического процесса;

- изготавливаться из материалов механически прочных, нетоксичных и удовлетворяющих требованиям технологии;

- иметь такие формы и габариты, в которых бы учитывались гигиенические и физиологические особенности работающих;

- подвижные части оборудования и механизмы должны иметь окраску, соответствующую ГОСТ 15548—70 «Цвета сигнальные и знаки безопасности для промышленных предприятий»;

- наружная поверхность теплоизоляции или экранировки на тепловыделяющем оборудовании и устройстве не должна иметь температуру выше 45°С; оборудование с тепловыделением больше 20 ккал/м·ч подлежит установке в отдельных помещениях или зданиях;

- виброоборудование, центрифуги и другие виды шумящего оборудования должны быть снабжены шумоглушащими устройствами, экранировками, обмазками

и т. п., обеспечивающими снижение шума до допустимого санитарными нормами;

не загрязнять воздушную среду помещений парами, аэрозолями, запахами, пылью свыше уровней, допустимых санитарными нормами;

не выделять в зону рабочих мест и постоянного пребывания людей электромагнитных излучений ВЧ, СВЧ и рентгена, не иметь открытых и незащищенных слепящих и вызывающих термическое воздействие источников света с уровнями, превышающими санитарные нормы.

§ 47. ВИДЫ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЕГО НАЗНАЧЕНИЕ

Виды вакуумного оборудования

Вакуумная техника необходима в металлургии, сельском хозяйстве, в освоении космоса, авиации, медицине, транспортном хозяйстве, т. е. буквально во всех отраслях народного хозяйства.

В данном учебнике основное внимание уделено производству ЭВП, поэтому виды вакуумного оборудования также будут рассмотрены применительно к производству таких приборов.

В условиях мелкосерийного и опытного производства (опытные заводы при отраслевых НИИ) эксплуатируются стационарные откачные посты, линии откачных постов, вакуумные камерные печи отжига, пайки и обезгаживания.

В условиях крупносерийного и массового производства, наряду с вышеперечисленным оборудованием, работают полуавтоматы и автоматы откачки, многопозиционные откачные посты, конвейерные печи отжига, пайки и обезгаживания.

Для экспериментальных и исследовательских работ применяют лабораторное оборудование и опытные образцы оборудования. Лабораторное оборудование отличается от стационарного наличием устройств, необходимых для исследовательских работ, но не обязательных в производственных условиях.

Откачное оборудование также может быть подразделено на индивидуальные откачные посты, линии или группы постов, полуавтоматы и автоматы откачки.

Кроме откачного оборудования в производстве изделий электронной техники широко применяется:

вакуумное термическое оборудование для пайки, отжига, тренировки деталей и узлов изделий;

напылительное оборудование для нанесения тонких пленок, применяемое в производстве микроэлектронных приборов, фотоэлектронных усилителей, интегральных схем, просветленной оптики и т. д.;

установки для вакуумной плавки, сварки, испарения и т. д.

С учетом перспективной потребности промышленности в оборудовании и тенденций развития технологии изготовления ЭВП разрабатываются типаж и параметрические ряды оборудования. Разработка типажов создает минимальную технически и экономически обоснованную номенклатуру оборудования на базе унифицированных элементов, обеспечивающего потребности промышленности.

Типаж определяют размерный ряд (габариты технологических камер, размеры обрабатываемых изделий и пр.) и основные технические параметры оборудования.

Поскольку в промышленности действует очень много различных типов и видов оборудования, в данном параграфе будут приведены общие виды и основные характеристики только некоторых типов оборудования, выпускаемого в настоящее время серийно и являющегося прототипом нового оборудования, разрабатываемого в соответствии с требованиями повышения производительности и качества изделий.

Откачные посты

Откачные посты по видам обрабатываемых на них приборов подразделяют на:

- посты для откачки крупногабаритных ЭВП;
- посты для откачки ЭВП больших и средних размеров;
- посты для откачки ЭВП средних и малых размеров;
- посты для откачки отдельных типов приборов (ЛБВ, клистронов, магнетронов, генераторных ламп и т. д.);

Основные технические характеристики современных откачных постов

Типы постов	Полный объем технологической камеры (D—диаметр, H—высота), мм	Рабочая температура, °C	Разрежение в технологической камере, Па	Предельное разрежение в системе откачки, Па	Средства вакуумной откачки	Уровень автоматизации
УП-2	Ø 700; H—1300	700	1,33	$1,06 \cdot 10^{-6}$	ТМН-100	Программирование + ЭВМ
УП-3	Ø 750; H—2000	700	1,33	$6,66 \cdot 10^{-7}$	ТМН-200	Программирование + ЭВМ
УП-4	Ø 750; H—3000	700	1,33	$6,66 \cdot 10^{-6}$	ТМН-200	Программирование + ЭВМ
СЖМ1.433.002	Ø 700; H—1000	800	6,66	$2,66 \cdot 10^{-6}$	ТМН-200	ЭВМ
ОММ2.300.012	Ø 400; H—800	700	$6,66 \cdot 10^{-3}$	$6,65 \cdot 10^{-6}$	НОРД-100	ЭВМ
ОММ2.300.016	Ø 400; H—800	700	$6,66 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-6}$	НОРД-250	ЭВМ
ХЕМ.2.300	Ø 300; H—600	700	$6,66 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-6}$	НОРД-100	ЭВМ
ЛМ-59-00	Ø 300; H—575	600	6,66	$2,66 \cdot 10^{-6}$	ТМН-200	ЭВМ
УВА-1	Ø 450; H—500	700	6,66	$2,66 \cdot 10^{-6}$	НОРД-100	ЭВМ
УП-1А	450×450×450	700	1,33	$6,66 \cdot 10^{-7}$	ТМН-200	Программирование + ЭВМ
УП-1Б	450×450×450	650	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$6,66 \cdot 10^{-7}$	ТМН-200	Программирование + ЭВМ
ЛМ-57-00	Ø 315; H—450	600	6,66	$2,66 \cdot 10^{-6}$	НОРД-100	Программирование + ЭВМ
А.333.33	320×170×440	700	$6,66 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-6}$	ТМН-200	Программирование
А.333.39	Ø 45; H—350	600	6,66	$2,66 \cdot 10^{-6}$	ТМН-200	То же
А.330.82	340×510×440	700	$6,66 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-6}$	ТМН-200	Программирование + ЭВМ
600Э.888	Ø 350; H—700	700	$6,66 \cdot 10^{-6}$	$2,66 \cdot 10^{-6}$	ТМН-200	ЭВМ
					СОН-1А	

посты для откачки специальных изделий (газонаполненных, ртутных и т. д.).

Откачные посты, разработанные в последние годы, рассчитаны на работу в автоматизированных системах управления технологическим процессом откачки.

В приводимой табл. 26 указаны основные характеристики постов, разработанных в последние годы и осваиваемых в серийном производстве. Как видно из таблицы, почти все посты рассчитаны на применение их в АСУТП с управлением от ЭВМ или на управление от программаторов, или на сочетание управления от ЭВМ и программирующих устройств. Все посты имеют возможность перевода процесса откачки на ручное управление при наладочных работах или при отказах устройств управляющего комплекса.

Посты для откачки крупногабаритных ЭВП. Для откачки изделий размерами по высоте более 1000 мм и диаметром более 500 мм, вместо ранее изготавливаемых постов серии В-1, В-И и А, разработаны новые унифицированные посты УП-2, УП-3 и УП-4, в которых значительно увеличены размеры рабочей зоны технологической камеры, модернизирована вакуумная система и практически полностью изменена электротехническая часть.

Характерной особенностью этой группы постов является конструкция технологической камеры, обеспечивающая удобство постановки и съема откачиваемых крупногабаритных изделий, возможность механизации этой операции и большая надежность системы нагрева.

Разработка и освоение в серийном производстве постов серии УП в основном обусловлена необходимостью создания оборудования, способного работать в АСУТП с управлением от ЭВМ или других устройств автоматизации.

Цилиндрическая технологическая камера разрезана по вертикали на две равные части. Одна половина камеры устанавливается неподвижно и на ней монтируются вакуумная система, технологические вводы и другие элементы поста. Вторая половина камеры подвешена на шарнирах и может открываться, создавая условия для постановки, обслуживания и снятия откачиваемого изделия (рис. 66).

Высоковакуумный агрегат (рис. 67) расположен на опорном каркасе, который одновременно служит и для крепления к нему неподвижной половины камеры

Форвакуумная система рассчитана на работу от централизованной форвакуумной системы (ЦФС) и оснаще-



Рис. 66 Откачной пост В П с раскрытой камерой

на блоками защиты высоковакуумной системы и рабочего объема камеры от возможного прорыва атмосферы в период откачки изделия.

Электротехническая часть поста выполнена в виде двух стоек, одна из которых содержит в себе элементы управления и питания технологической частью поста, а во второй смонтированы устройства связи с управляющим комплексом или локальные устройства автоматического программирования основных операций цикла

откачки. Посты серии УП могут эксплуатироваться в линии (рис. 68) или отдельно

Посты для откачки ЭВП больших и средних размеров. Для откачки изделий высотой до 800 мм и диамет-

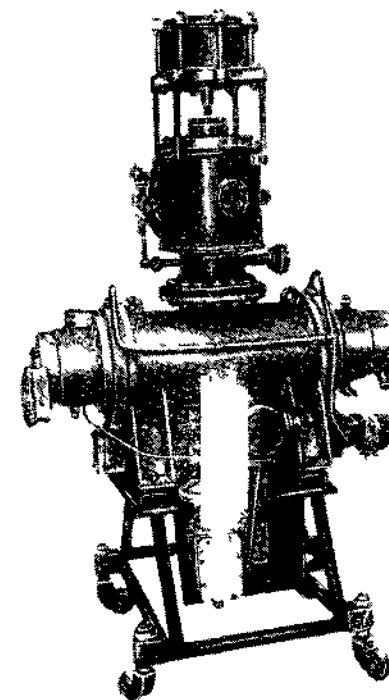


Рис. 67 Высоковакуумный агрегат на базе турбомолекулярного насоса (ТМН 200)

ром до 400 мм разработаны посты типов ОММ2-300-012, ОММ2-300-016 (рис. 69, 70), ХЕМ-2-300, УВА-1 и др.

Технологические камеры этой группы постов выполнены в виде закрытого сверху цилиндра. Для постановки и съема изделий камера посредством механизма подъема поднимается вверх.

Высоковакуумная и форвакуумная системы расположены под плитой стола, на котором установлена технологическая камера.

В последнее время конструкция постов переработана с учетом эксплуатации в АСУТП с управлением от ЭВМ или других устройств автоматизации технологического процесса.

Электротехническая часть постов в основном аналогична электротехнической части постов серии УП.

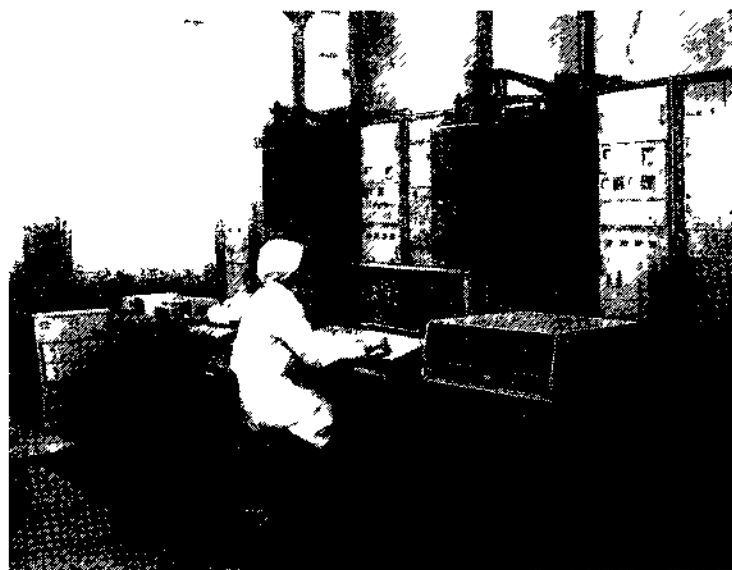


Рис. 68 Линия откачных постов УП

Пост СЖМ1-433-002 в соответствии с размерами технологической камеры является промежуточным между первой и второй группой.

Посты для откачки ЭВП средних и малых размеров.
Для откачки изделий высотой и диаметром до 450 мм разработана группа постов, в которую входят: УП-1А, УП-1Б, ЛМ-5700 (рис. 71), А330-82, А393-33, А333-39 и др.

Посты этой группы по конструкции наиболее разнообразны, занимают небольшую площадь, так как вакуумная система расположена под плитой, на которой установлена технологическая камера. У некоторых типов постов их электротехническая часть размещена в одной стойке.

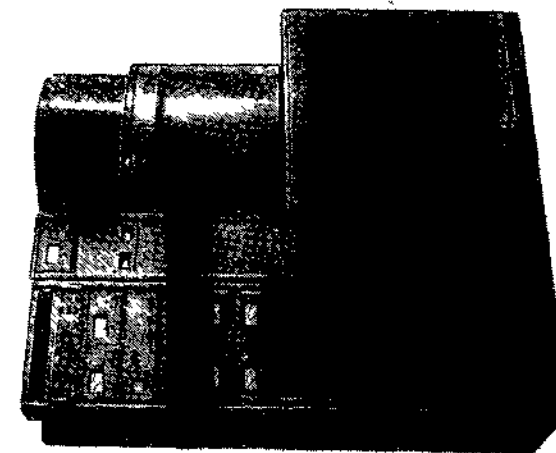


Рис 70 Откачной пост ОММ2-300-016 с управлением от ЭВМ

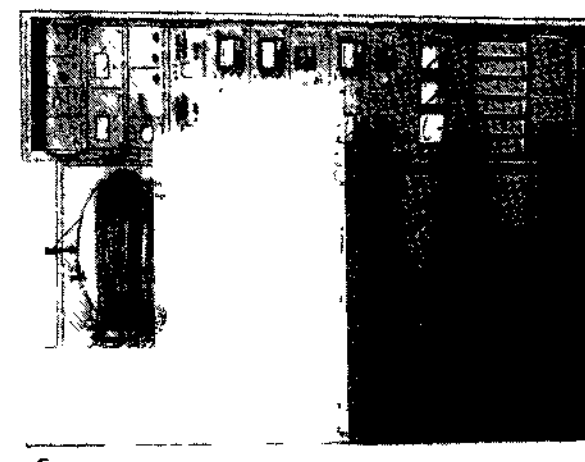


Рис 69 Откачной пост ОММ2-300-012

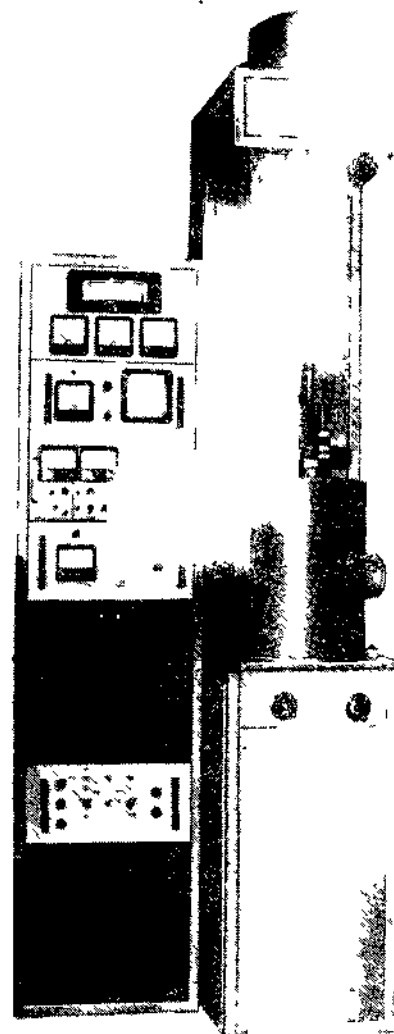


Рис 71 Общий вид откачного поста
ЛМ 5700

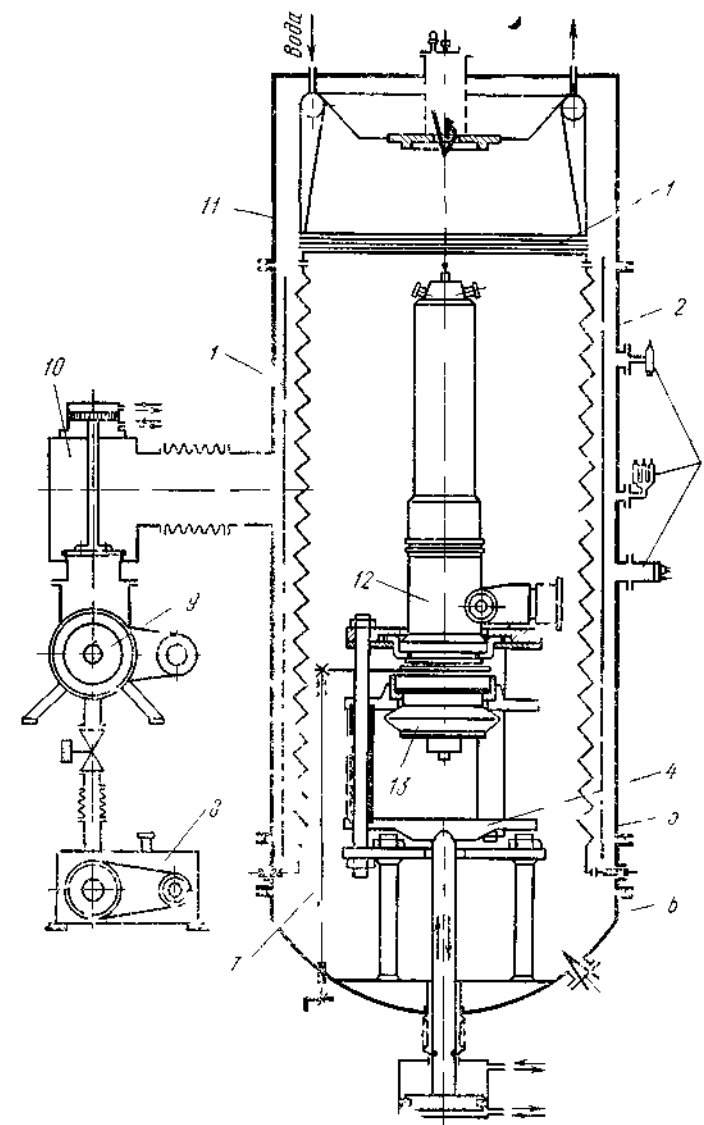


Рис 72 Вакуумно технологическая схема поста камерной откачки

1 — система экранов 2 — система нагрева технологической камеры, 3 — манометрические преобразователи, 4 — механизм герметизации узлов прибора с пневматическим приводом, 5 — технологическая камера, 6 — подвижное дно камеры, 7 — механизм поворота заслонки, 8 — форвакуумный насос, 9 — турбомолекулярный насос, 10 — высоковакуумный кран 11 — геттерно ионный насос орбитронного типа 12 и 13 — расчетный прибор

Конструкция технологических камер у большинства постов этой группы цилиндрическая.

Более мелкие изделия откачиваются на постах этой группы, но при этом одновременно откачивается по несколько изделий одновременно.

Пост камерной откачки. Пост камерной откачки типа 600Э-888 в отличие от постов, рассмотренных ранее, где откачка изделий осуществляется через штенгель, является камерным (бесштенгельным) (рис. 72). Посты камерной откачки наиболее выгодно применять для кластронов и других типов изделий, в которых удаление газов через штенгель затруднено в связи с малым сечением внутренних каналов прибора. В этом случае расчлененное на две части изделие размещено в высоковакуумной камере поста и удаление газов из прибора осуществляется непосредственно в камеру поста, а не через штенгель.

Посты для откачки генераторных и модуляторных приборов. Для откачки этой группы приборов разработаны три базовые модели постов нескольких модификаций (табл. 27).

Таблица 27

Характеристики базовых моделей откачных постов

Наименование	Модификация постов		
	I	II	III
Число рабочих позиций	4	2	2
Предельный вакуум в приборе, Па	$3,99 \cdot 10^{-6}$	$3,99 \cdot 10^{-6}$	$3,99 \cdot 10^{-6}$
Размеры печи (внутри), мм	$1260 \times 200 \times 400$	$\varnothing 330 \times 550$	$\varnothing 330 \times 660$ $\varnothing 240 \times 520$
Максимальная температура в печи, °С	500	500	500
Средства откачки	Н-1С2, ГИН, ВН-461 М	Н-1С2, ГИН, ВН-461 М	Н-1С2, ГИН, ВН-461 М
Среда в печи	Воздух	Воздух	Воздух
Габариты поста, мм	$4300 \times 2100 \times 3100$	$5300 \times 2300 \times 3400$	$5300 \times 3300 \times 3400$

Откачные машины

В условиях крупносерийного и массового производства ЭВП целесообразно применять многопозиционное откачное оборудование, основными видами которого яв-

ляются карусельные и конвейерные откачные машины.

Полуавтомат откачки ЭВП представляет собой машину с периодически вращающейся каруселью, на которой расположены откачные гнезда, соединенные с вакуумной системой откачки прибора.

Для полуавтоматов откачки характерно наличие корпуса (или станины), карусели с гнездами, привода карусели и целевых механизмов полуавтомата, фиксаторов карусели, подъемников высокочастотных индукторов, вакуумной системы, туннельной печи, системы индукционного нагрева ЭВП, энергетической системы (вода, газы, электропитание).

Вакуумные системы карусельных машин могут быть выполнены либо независимыми, когда

каждая позиция имеет свою, независимую от других позиций, вакуумную систему, либо зависимыми, когда все или несколько откачных позиций имеют общую систему предварительной откачки (рис. 73). В большинстве машин карусельного типа откачка приборов производится диффузионными паромасляными насосами, присоединенными к откачному гнезду непосредственно или реже через промежуточный золотник. Форвакуумные насосы чаще всего устанавливаются неподвижно и обслуживают одну или несколько позиций карусели. Для

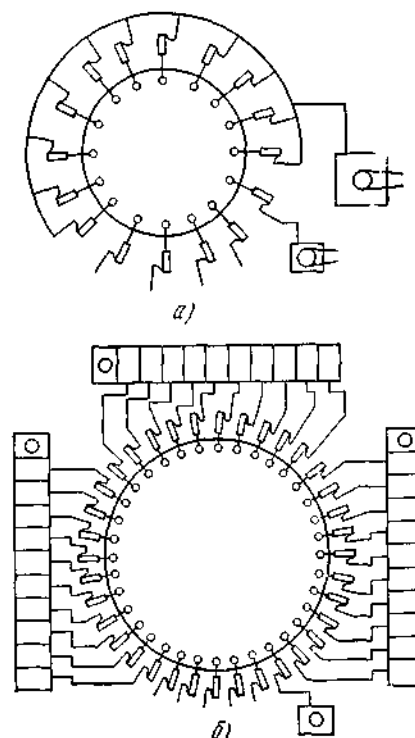


Рис. 73. Вакуумная схема полуавтомата с вращающимися на карусели диффузионными насосами

а — с зависимой форвакуумной системой откачки изделий, б — с независимой системой откачки изделий

осуществления независимой откачки каждого гнезда карусели применяют многокамерные форвакуумные насосы (например, десятикамерные). Коммутация неподвижных форвакуумных насосов с диффузионными насосами осуществляется через золотник или непосредственно через трубопроводы, если диффузионные насосы также установлены неподвижно.

Вакуумная схема полуавтомата откачки с вращающимися на карусели диффузионными насосами показана на рис. 74. Трудность обеспечения герметичности золотников в области высокого вакуума и возможность попадания смазки (необходимой для работы золотника) в объем откачиваемого прибора определили предпочтение к машинам с золотником в форвакуумной части системы.

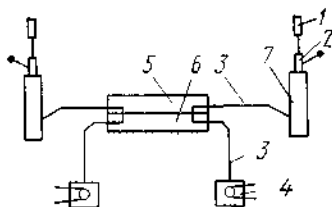


Рис. 74. Вакуумная схема откачной позиции полуавтомата с вращающимися на карусели диффузионными насосами:

1 — откачиваемый прибор, 2 — гнездо, 3 — вакуумпроводы, 4 — форвакуумный насос, 5 — вакуумный золотник (вращающаяся часть), 6 — вакуумный золотник, 7 — диффузионный насос

ные машины, позволяющие получать в приборе высокий и сверхвысокий вакуум.

Конвейерная машина состоит из передвижных позиций, в которых размещена система откачки с форвакуумными и высоковакуумными насосами.

Откачка приборов на карусельных и конвейерных машинах экономически значительно выгоднее, чем на стационарных откачных постах, но может быть применена только для приборов с небольшим временем откачки — до нескольких часов.

На полуавтоматы откачки создан типаж «Полуавтоматы для откачки электровакуумных приборов», в который входит полуавтоматическое оборудование карусельного типа для откачки массовых типов приборов (СМП, ППУЛ, ПУЛ, ГРП, ГП) с диаметром колб 10—80 мм и высотой 30—130 мм.

В настоящее время в промышленности работает три типа полуавтоматов, выпускаемых серийно:

ЕНО23-009 для откачки миниатюрных ламп;
ИО23-018 для откачки долговечных ламп;
ИО23-013 для откачки среднегенераторных ламп.
Кроме того, эксплуатируются полуавтоматы, выпущенные небольшими партиями:
ИО23-15 для откачки газотронов;
ИО23-16 для откачки тиратронов;
ИО23-021, ИО23-26, ИО23-0001, ИО23-0003, ИО23-0007, ИО23-0015 для откачки различных генераторных приборов;
ИО23-0016 для откачки долговечных ламп.

Типаж предусматривает замену вышеперечисленных машин тремя типами базовых конструкций полуавтоматов с основными параметрами, указанными в табл. 28.

Таблица 28

Характеристики базовых конструкций откачных полуавтоматов

Наименование оборудования	Габариты обрабатываемых изделий		Предельное разрежение на позициях отпая, Па	Кинематическая производительность, шт/ч	Число позиций
	диаметр, мм	длина, мм			
Полуавтомат откачки СМП и ППУЛ	10—22	30—70	$1,05 \cdot 10^{-1}$	300—800	36
Полуавтомат откачки ППУЛ, ПУЛ, ГРП	18—50	40—130	$6,66 \cdot 10^{-3}$	90—300	36
Полуавтомат откачки ГРП и ГП	30—80	40—200	$2,66 \cdot 10^{-4}$	0,16—1	16

Вакуумные печи

Основные технические характеристики типовых вакуумных печей приведены в табл. 29.

§ 48. УСТРОЙСТВО ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ОТКАЧНЫХ ПОСТОВ

Вакуумно-технологические схемы постов

Вакуумные системы и их основные элементы рассмотрены в гл. VII, вакуумно-технологическая схема поста помимо этих вакуумных элементов включает в себя тех-

Основные характеристики вакуумных камерных малоинерционных печей

Назначение вакуумных печей	Размеры рабочего пространства (Ø—диаметр, Н—высота), мм	Наименьшая рабочая температура °С	Среда рабочего пространства
Для обжига, пайки и обезгаживания	Ø 125, Н—160; Ø 315, Н—300	2200	Вакуум $4 \cdot 10^{-4}$ Па
Для пайки и обезгаживания	Ø 200, Н—315; Ø 315, Н—500; Ø 500, Н—710	1600	Вакуум $4 \cdot 10^{-4}$ Па
	Ø 630, Н—100	1300	
	Ø 800, Н—1800	1200	Вакуум 10^{-3} Па

нологическую камеру, энергетическую систему поста, систему охлаждения и ряд других элементов, необходимых для обеспечения работоспособности оборудования.

На рис. 75 приведена упрощенная вакуумно-технологическая схема постов типа УП. Как видно из схемы, между высоковакуумным насосом 1 и фланцем на штенгеле откачиваемого прибора 7 имеется вакуумпровод, на котором размещены манометрические преобразователи 11, кран 13, вместо которого иногда встраивается устройство для измерения газового потока. Практически длина вакуумпровода близка к одному метру, причем одна часть его находится в камере и нагревается до $250\text{--}400^\circ\text{C}$, а другая часть, расположенная вне камеры, имеет температуру, близкую к комнатной.

С целью более качественного обезгаживания внутренней поверхности участка вакуумпровода, расположенного вне камеры, он прогревается дополнительными нагревателями 3 до $400\text{--}450^\circ\text{C}$, если уплотнители металлические, или до $150\text{--}200^\circ\text{C}$, если уплотнители из высоковакуумной термостойкой резины (ИРП-1345 и др.).

В постах типа ЛМ задача снижения газоотделения участка вакуумпровода между насосом и изделием реше-

на более просто, конструктивно этот участок сокращен до нескольких сантиметров, поэтому его газоотделение незначительно по сравнению с газоотделением прибора.

Схемы многих откачных постов имеют так называемую байпасную систему откачки, которая обеспечивает

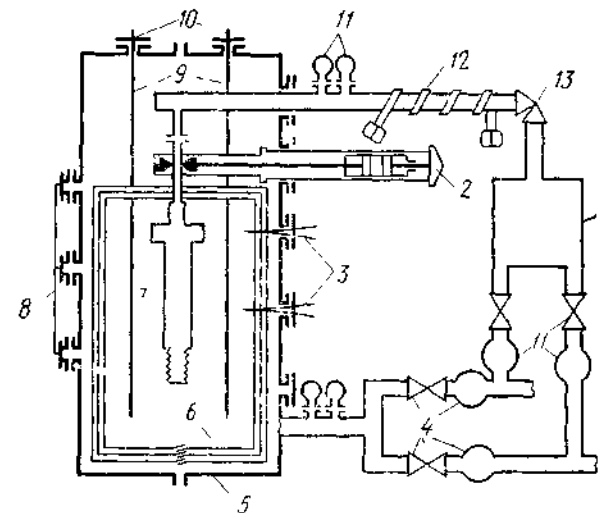


Рис. 75 Вакуумно-технологическая схема откачных постов:

1 — турбомолекулярный насос ТМН-200, 2 — механизм герметизации, 3 — термопарные вводы, 4 — блоки защиты в системе централизованного форвакуума, 5 — корпус камеры, 6 — система экранов, 7 — откачиваемый прибор, 8 — смотровые окна, 9 — нагреватели, 10 — токовые вводы, 11 — манометрические преобразователи, 12 — гибкие нагреватели вакуумпроводов, 13 — высоковакуумный кран

возможность предварительной откачки изделия форвакуумной системой без выключения высоковакуумного насоса.

Откачные посты, расположенные в помещениях II категории согласно требованиям промышленной санитарии, должны быть подсоединены к системе централизованного форвакуума. При соединении нескольких откачных постов с общей магистралью форвакуума необходимы устройства защиты от возможного прорыва атмосферы в работающую систему поста.

В блок защиты входят два быстродействующих крана, перекрывающих магистраль за несколько миллисе-

кунд, и так называемая форвакуумная задержка, способная обеспечить время, необходимое для подачи сигнала от датчика и для закрывания крана; электротехнический блок, усиливающий сигнал датчика, питающий электромагнитные катушки быстродействующих кранов и позволяющий вручную открывать и закрывать краны при наладке блока защиты.

Технологическая камера

Размеры рабочей зоны технологической камеры от качных постов определяются габаритами откачиваемых изделий, а остальные конструктивные особенности — технологическими требованиями обработки изделий: температурой, расположением мест соединения с вакуумной системой, энергетических вводов, вакуумных датчиков и т. д.

Конструкция камеры должна обеспечивать удобство загрузки и выгрузки изделий, с этой целью камера или перемещается, или раскрывается, иногда сама камера остается неподвижной, а перемещается ее днище или крышка.

Для создания заданной температуры в технологической камере в последнее время применяют электронагреватели и только в серийном и массовом производстве стеклянных ЭВП эксплуатируются печи с газовым нагревом.

Электрический нагрев позволяет достаточно просто регулировать температуру, является наиболее дешевым и безопасным источником тепла. В камерах с форвакуумной средой $1,33 \cdot 10^{-1}$ Па и выше и рабочей температурой не более 800°C в качестве электронагревателя можно применять сплавы высокого сопротивления, нихром, константан и др., но напряжение на нагревателях (внутри камеры) должно быть менее 100 В; при более высоком напряжении возможны электрические пробой между токоведущими частями.

В камерах с высоковакуумной средой $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па и ниже возможно применение нагревателей из тугоплавких материалов: молибдена, вольфрама и др., в этом случае максимальная температура в камере ограничивается допустимой для данного материала. Иногда в качестве нагревателей применяют кварцевые иодидные лампы или нагреватели типа ТЭН. В условиях высокого

вакуума и высоких температур в камере следует учитывать распыление материалов нагревателей и экранов и осаждение их на поверхность оболочки прибора, что приводит к снижению электрической прочности изоляционных материалов.

Для снижения электрических потерь между нагревателями и оболочкой камеры размещается теплоизоляция. В камерах с вакуумной средой наиболее распространено применение защитных металлических экранов, количество которых определяется расчетным путем, а материал выбирается, исходя из прочности его при максимальных температурах. При температурах до 800°C можно ограничиться 2—4 экранами, при температурах 2000 — 2500°C количество их может возрасти до 10—20.

В камерах с газовой и воздушной средой в качестве теплоизоляции применяют легковесный кирпич, шамот, асбест и др.

Внешнюю оболочку камеры для снижения температуры охлаждают проточной водой. С этой целью корпус камеры делают из двух оболочек, между которыми пропускают воду, или к оболочке приваривают трубы, по которым пропускается вода. На неподвижных узлах камеры обычно размещают фланцы подсоединения вакуумпроводов, манометрических датчиков, токоведущих и термопарных вводов.

На фотографиях откачных постов, приведенных ранее, можно увидеть наиболее распространенные конструкции камер.

Пульт управления и питания

Пульт управления и питания объединяет в единую конструкцию отдельные электрические и радиотехнические устройства управления всеми элементами оборудования, осуществляющие измерение, регулирование и контроль технических параметров.

При разработке пульта электрического питания и управления учитываются применяемые средства откачки, система нагрева и требования технологического режима обработки изделия. В соответствии с этим пульт управления и электрического питания состоит из следующих основных блоков:

блока управления вакуумной системой, в который входят коммутационная и регулирующая аппаратура и

элементы сигнализации, часто на передней панели блока наносится мнемосхема вакуумной части, что облегчает ориентацию оператора,

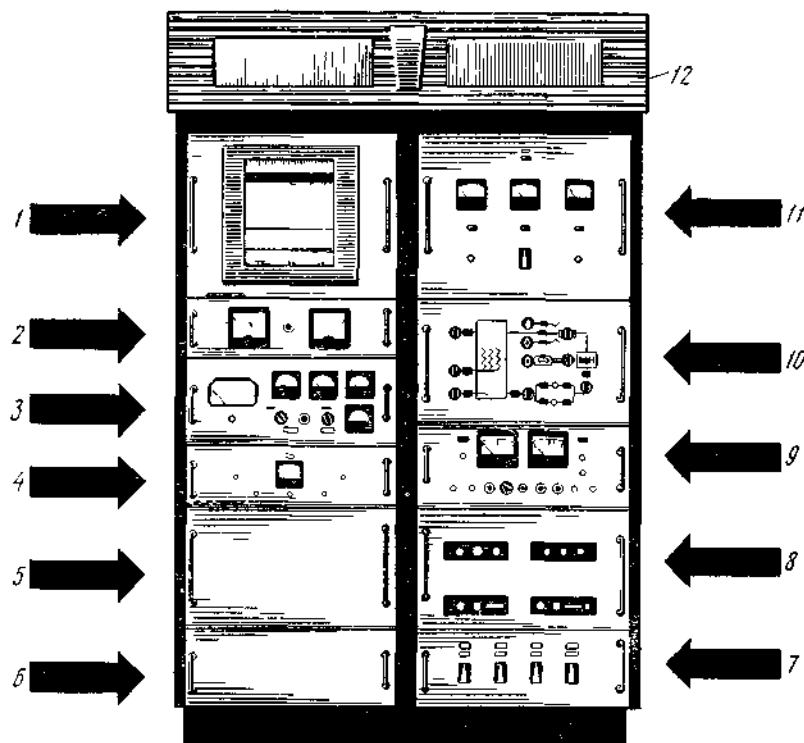


Рис 76 Общий вид пульта управления постов

1 — блок питания подогревателя катода 2 — блок программного управления, 3 — блок с мнемосхемой, 4 — блок измерительных приборов 5 — блок индикации, 6 — блок аварийной сигнализации 7 — блок силового питания, 8 — устройство управления вакуумными клапанами 9 — блок с контрольной аппаратурой, 10 — блок с трансформаторами и диодами 11 — панель с пневмоаппаратурой, 12 — стойка с преобразователем частоты и аппаратурой управления защитой (При монтаже постов в линию эта стойка заменяется одной общей на всю линию постов)

блока питания системы нагрева технологической камеры с трансформаторами и аппаратурой регулирования, применяют автоматические системы регулирования, обеспечивающие определенную скорость подъема температуры на изделии, поддержание заданной температуры в течение всего времени обезгаживания и определенной

скорости снижения температуры по окончании цикла откачки,

блоков электрической тренировки прибора (катода, сеток, анода), обеспечивающих подачу на электроды прибора необходимого напряжения

Кроме того, в пульта управления монтируются регистрирующая и измерительная аппаратура, устройства сигнализации и т.д.

В автоматизированных системах управления в пульт управления поста монтируются устройства связи с ЭВМ или блоками программного управления (рис 76).

Опыт эксплуатации управляющих систем показал возможность встраивать целый ряд элементов управляющего комплекса в стойку системы управления линии постов, а в пульта управления самого поста включать только самые необходимые элементы управляющего комплекса.

§ 49 ТРЕБОВАНИЯ К ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Достижение паспортного значения предельного или рабочего давления вакуумного оборудования и обеспечение работоспособности различных электровакуумных приборов при эксплуатации и после складского хранения в значительной степени зависит от их герметичности.

Герметичность — это свойство отдельных элементов вакуумного оборудования и ЭВП, характеризующее их способность не пропускать во внутреннюю полость газы, пары или жидкости из окружающей среды. В вакуумной технике чаще всего имеют дело с натеканием газов или паров в вакуумный объем и поэтому говорят о *вакуумной герметичности*. Степень вакуумной герметичности какого-либо элемента ЭВП или оборудования характеризуется величиной натекания, т.е. количеством газа, поступающего в его объем в единицу времени при стандартных внешних условиях: натекающий газ — воздух, давление воздуха — $1,01 \cdot 10^5$ Па, температура воздуха 20°C . Газы натекают внутрь вакуумного объема через места нарушения герметичности, называемые течами, причем любой объем может иметь одну или несколько течей. Размер течи оценивается величиной натекания газа при стандартных внешних условиях и определяется

только в процессе испытания объема на вакуумную герметичность. Целью контроля на вакуумную герметичность является определение общего натекания объема через все имеющиеся течи, нахождение отдельных течей, а при необходимости и оценка величины каждой течи.

На практике условия контроля на герметичность часто не совпадают со стандартными внешними условиями: вместо воздуха оценивается натекание различных пробных газов (гелия, аргона, водорода), контроль осуществляется при различных давлениях пробного газа и т. п.

В этом случае для удобства сравнительной оценки величин отдельных течей необходимо привести их к стандартным внешним условиям с помощью следующих пересчетных формул:

а) для молекулярного режима течения газа:

$$B = Q \sqrt{\frac{M_r}{M_v}} \cdot \frac{P_a}{P_2 - P_1}, \quad (68)$$

где B — величина течи в стандартных условиях, Па·л/с; Q — величина натекания в реальных условиях контроля, Па·л/с; M_r , M_v — молекулярные веса пробного газа и воздуха, г; P_a — атмосферное давление воздуха, Па; P_1 , P_2 — давление газа по обе стороны течи, Па;

б) для вязкостного режима течения газа:

$$B = Q \frac{\eta_r P_a^2}{\eta_v (P_2^2 - P_1^2)}, \quad (69)$$

где η_r , η_v — вязкости пробного газа и воздуха, Па.

Режим течения газа через течь приближенно оценивается по величине натекания в реальных условиях контроля:

если $Q \leq 10^{-4}$ Па·л/с, то течение молекулярное;

если $Q > 1,33 \cdot 10^{-1}$ Па·л/с, то течение вязкостное;

если Q составляет от 10^{-4} до $1,33 \cdot 10^{-1}$ Па·л/с, то течение молекулярно-вязкостное.

Такая оценка режимов течения справедлива при условии, что течь — это цилиндрический канал круглого сечения неизвестной длины и диаметра.

Для молекулярно-вязкостного режима течения газа пересчет величины течи к стандартным условиям произ-

водится приближенно по формулам наиболее близкого к нему режима — молекулярного или вязкостного.

Требования к герметичности вакуумного оборудования определяются величиной предельного или рабочего давления, которое необходимо поддерживать при известной эффективной скорости откачки. Для изолированных объемов и оболочек ЭВП требования к герметичности определяются заданным сроком их службы и складского хранения, допустимым увеличением давления в замкнутом объеме, величиной объема, степенью обезгаженности внутренних элементов, наличием геттеров или автономных средств откачки и т. п. Количественно требования к герметичности оборудования или ЭВП выражаются в виде допустимой величины суммарного натекания ($Q_{\text{доп}}$) через течи.

Величина $Q_{\text{доп}}$ для вакуумного оборудования рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{доп}} \leq P_{\text{раб}} S_{\text{э}} - Q_r, \quad (70)$$

где $P_{\text{раб}}$ — заданное рабочее давление, Па; $S_{\text{э}}$ — эффективная скорость откачки установки, л/с; Q_r — поток рабочего газоразделения, Па·л/с.

Для ЭВП, не имеющих геттера и автономного средства откачки, $Q_{\text{доп}}$ определяется по формуле

$$Q_{\text{доп}} \leq \frac{v (P_{\text{доп}} - P_0) - q_r}{t}, \quad (71)$$

где v — объем ЭВП, л, $P_{\text{доп}}$ — допустимое увеличение давления в ЭВП, Па; P_0 — остаточное давление в ЭВП, Па; q_r — количество газа, выделяемое внутренними элементами ЭВП, Па·л; t — срок службы и складского хранения ЭВП, с.

При наличии в ЭВП геттера расчет $Q_{\text{доп}}$ ведется по формуле

$$Q_{\text{доп}} \leq \frac{v (P_{\text{доп}} - P_0) - q_r + \Sigma}{t}, \quad (72)$$

где Σ — общая сорбционная емкость геттера по воздуху, Па·л.

Если ЭВП оснащен автономным средством откачки (магнитный электроразрядный или геттерно-ионный насос), то величина $Q_{\text{доп}}$ рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{доп}} \leq \frac{v (P_{\text{доп}} - P_0)}{\tau}, \quad (73)$$

где τ — промежуток времени между очередными включениями насоса, с.

Из формулы (73) следует, что величина $Q_{\text{доп}}$ существенно зависит от выбранного интервала τ и при уменьшении его можно повысить требования к герметичности ЭВП. Однако на практике не допускают снижения требований к герметичности ЭВП. Кроме того, при уменьшении τ усложняется процесс складского хранения приборов из-за необходимости часто включать автономные средства откачки. Расчет величины $Q_{\text{доп}}$ чаще всего ведут по формуле (71), а автономные средства откачки в процессе складского хранения включают периодически с профилактической целью — для выявления натекающих изделий.

Рассмотренные выше расчетные формулы не позволяют определять $Q_{\text{доп}}$ с большой точностью, так как в них входят параметры, либо трудно определимые (q_r , Q_r , Σ), либо недостаточно четко установленные для большинства типов ЭВП ($P_{\text{доп}}$, t). Поэтому расчетным путем находят лишь порядок величины $Q_{\text{доп}}$, которая в дальнейшем корректируется с учетом конкретных условий испытания на герметичность. По найденной величине $Q_{\text{доп}}$ устанавливается необходимая чувствительность применяемых методов контроля на вакуумную герметичность (Q_r)

$$Q_r \leq Q_{\text{доп}} \quad (74)$$

При этом следует учитывать, что суммарное натекание в объем может складываться из натеканий через несколько течей, поэтому при выборе метода контроля герметичности (Q_r) необходимо предусмотреть запас по чувствительности для обнаружения более мелких течей.

§ 50. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ВАКУУМНОЙ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Существующие методы контроля вакуумной герметичности можно подразделить по назначению на две основные группы:

- 1) контроль в процессе сборки и откачки вакуумного оборудования и ЭВП,
- 2) контроль отпаянных ЭВП

Методы контроля герметичности на этапах сборки и откачки вакуумного оборудования и ЭВП

В основу этой группы методов (табл. 30) положена динамическая оценка герметичности элементов оборудования и ЭВП в процессе их непрерывной откачки. Наиболее универсальным из рассмотренных в табл. 31 методов является масс-спектрометрический, который основан на выделении ионов пробного газа из общей смеси газов

Таблица 30

Методы контроля герметичности вакуумного оборудования и электровакуумных приборов на этапах сборки и откачки

Методы контроля	Чувствительность метода Па·л/с	Применение
Масс-спектрометрический	$6,66 \cdot 10^{-8} - 6,66 \cdot 10^{-12}$ в зависимости от чувствительности течеискателя и способа контроля	Универсальный, применяемый для большинства видов ЭВП и вакуумного оборудования
Манометрический	1) При давлении 10^{-5} Па до $6,66 \cdot 10^{-4}$ 2) При давлении 10^{-10} Па до 10^{-9}	Для контроля вакуумного оборудования и ЭВП, присоединенных к этому оборудованию, при отсутствии средств для осуществления других более чувствительных методов контроля Для контроля вакуумного оборудования и присоединенных ЭВП в области сверхвысокого вакуума
С помощью магниторазрядного насоса	До 10^{-7}	Для контроля вакуумного оборудования с магниторазрядными насосами и ЭВП, присоединенными к этому оборудованию, при отсутствии средств для осуществления других более высокочувствительных методов или малой эффективности их использования
Люминесцентный	До 10^{-7}	Для определения места течи в натекающих элементах ЭВП и вакуумного оборудования

Методы контроля	Чувствительность метода, Па л/с	Применение
С помощью высокочастотного разряда	До $6,66 \cdot 10^{-3}$	Для контроля стеклянных вакуумных установок и металлических установок со стеклянными элементами или специальными стеклянными разрядниками (с присоединенными ЭВП) при отсутствии средств для осуществления более высокочувствительных методов контроля или невозможности их использования
С помощью вакуумного галогидного теческатора	До 10^{-6}	Для контроля вакуумного оборудования большого объема с сильно разветвленными трубопроводами и при наличии больших течей
Метод опрессовки	$10^{-2} - 10^{-6}$ в зависимости от давления опрессовки, рабочей жидкости и применения вакуумирования пространства над рабочей жидкостью	Для обнаружения мест нарушения герметичности в элементах ЭВП и вакуумного оборудования, допускающих создание в них избыточного давления газа, и когда место течи трудно определить другими методами контроля

и паров, поступающих в анализатор из контролируемого объекта, и последующем измерении ионного тока, пропорционального величине течи.

Для осуществления этого метода могут быть использованы как статические, так и динамические масс-спектрометры.

В статических масс-спектрометрах ионы пробного газа выделяются из смеси в постоянных магнитных и электрических полях, а в динамических — под действием переменного электрического или магнитного поля.

На базе статических масс-спектрометров разработаны промышленные образцы масс-спектрометрических теческаторов типа ПТИ-7, ПТИ-10, СТИ-11 и т. п. Из динамических масс-спектрометров наибольшее применение для целей контроля герметичности нашел омегатрон

Формулы для расчета чувствительности методов контроля герметичности в режимах непрерывных и периодических измерений

Методы контроля	Характер измерения и формулы для расчета Q_{\min}	Пределная чувствительность* метода, $\frac{\text{Па} \cdot \text{л}}{\text{с}}$	Применение
Манометрический	Непрерывные измерения. $\beta S_{\text{в}} \Delta P_{\min}$ (75)	$10^{-4} - 10^{-5**}$	Для контроля отпаянных ЭВП и замкнутых объемов, оснащенных манометрическими преобразователями
	$\alpha \gamma - \delta$ (76)		
	$V \Delta P_{\min}$ (76)		
	$t_0 (\alpha \gamma - 1)$		
Параметрический	Периодические измерения. (А) $\frac{V \Delta P_{\min}}{t}$ (77)	10^{-11}	Для контроля отпаянных ЭВП, в которых для измерения давления используется внутренняя электродная система приборов
	(Б) $\frac{V \Delta P_{\min} P_a}{t P_{\text{опр}}}$ (78)	До 10^{-12}	
	Непрерывные измерения (см. формулу 76)	$10^{-4} - 10^{-6**}$	
	Периодические измерения (А) см. формулу (77). (Б) см. формулу (78)	10^{-11} До 10^{-12}	
Масс-спектрометрический	Непрерывные измерения (см. формулу 76).	До 10^{-9**}	Для контроля отпаянных ЭВП и замкнутых обезгаженных объемов, оснащенных масс-спектрометрическими преобразователями для измерения парциальных давлений
	Периодические измерения (для А и Б). $\frac{V \Delta P_{\min} P_a}{t (P_1 - P_2)}$ (79)	$10^{-10} - 10^{-13}$	

1	2	3	4
С помощью автономных ЭРН	Непрерывные измерения см. формулу (75). Периодические измерения (А) $\frac{V \Delta I_d \cdot 10^{-6}}{3,6 K t} (80)$ (Б) $\frac{V \Delta I_d \cdot 10^{-6} P_a}{3,6 K t P_{опр} \alpha} (81)$	$10^{-6} - 10^{-7}$ 10^{-11} До 10^{-12}	Для контроля отпаянных ЭВП и замкнутых обезгаженных объемов, оснащенных магнитоэлектрическими насосами для измерения общего давления
С помощью ВЧ разряда	Периодические измерения (А) $\frac{P_{мин} V}{t} (82)$ (Б) $\frac{P_{мин} V P_a}{t P_{опр}} (83)$	10^{-5} 10^{-6}	Для контроля отпаянных металлоглазных ЭВП и замкнутых обезгаженных объемов со стеклянными элементами

* Максимальная чувствительность метода рассчитывалась для $V=10$ л, $\Delta P_{мин}=10^{-6}$ Па для масс-спектрометрического преобразователя типа РМО-4С или РМО-13; $\Delta P_{мин}=10^{-6}$ Па — для остальных измерительных устройств, $t_0=30$ с, $t=72$ ч, $P_{опр}=1,013 \cdot 10^5$ Па, пробные газы: аргон, гелий, воздух, $\Delta I_d=0,5$ мкА, $K=1,13 \cdot 10^{-4}$ А/Па, $P_{мин}=6,66 \cdot 10^{-1}$ Па.
 ** Режим контроля характеризуется большой постоянной времени вследствие малых значений скорости откачки по пробному газу.

Обозначения, принятые в формулах таблицы: δ — относительная скорость откачки манометрического преобразователя или насоса по пробному газу; S_a — скорость откачки по воздуху; $\Delta P_{мин}$ — минимальная достоверно регистрируемая величина измерения давления; α — коэффициент относительной чувствительности по пробному газу; γ — относительная проводимость течи по пробному газу; t_0 — время подачи пробного газа на течь; τ — постоянная времени откачки; t — время выдержки между очередными измерениями давления; P_a — атмосферное давление; $P_{опр}$ — давление опрессовки; P_1, P_2 — давление пробного газа снаружи и внутри прибора; ΔI_d — минимальная достоверно регистрируемая величина изменения разрядного тока ЭРП; k — коэффициент чувствительности ЭРП по воздуху; $P_{мин}$ — минимальная величина давления в интервале рабочих давлений метода.

Формула (75) применяется в случаях, когда $\delta \neq 0$, $(\frac{\alpha \gamma}{\delta} \neq 1$ — условие применимости этой формулы).

Когда $\delta=0$ и $\tau \ll t_0$, используется формула (76) ($\alpha \gamma \neq 1$ и $\tau \ll t_0$ — условия применимости этой формулы).

(ИПДО-2А). В качестве пробного газа чаще всего используется гелий, обладающий следующими необходимыми свойствами: инертностью, малым содержанием в окружающей атмосфере и в спектре выделяющихся газов, малым молекулярным весом ($M=4$).

Методы контроля герметичности отпаянных ЭВП

В основу этой группы методов положена статическая оценка герметичности отпаянных ЭВП и замкнутых объемов, т. е. регистрация скорости изменения давления в замкнутом объеме с помощью различных средств измерения давления.

Методы контроля герметичности отпаянных приборов и расчетные формулы для определения чувствительности $Q_{мин}$ при различных режимах испытания приведены в табл. 31. В зависимости от способа оценки изменения давления в отпаянном приборе различают два режима испытания: режим непрерывного измерения и режим периодического измерения, или режим накопления, который, в свою очередь, может осуществляться либо без опрессовки (А), либо с опрессовкой (Б) контролируемого прибора в заданной среде. В режиме периодического измерения давление в приборе оценивается по максимальному значению ионного или разрядного тока измерительного устройства при включении его в рабочий режим.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные узлы откачных постов. Чем обеспечивается надежность и безотказность откачного оборудования в работе?
2. Что дает автоматизация процесса откачки?
3. Какие виды вакуумно-термического оборудования вы знаете? Охарактеризуйте каждый вид оборудования.
4. Что такое герметичность изделия и как она определяется?
5. Назовите основные методы контроля вакуумной герметичности оборудования и ЭВП на этапах сборки и откачки. Какие методы обеспечивают наибольшую чувствительность контроля?
6. Перечислите основные методы контроля вакуумной герметичности отпаянных ЭВП. В чем заключается их особенность?

Глава X. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

§ 51. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Правила техники безопасности и производственной санитарии в электронной промышленности отражают общие и специальные требования техники безопасности и производственной санитарии при производстве изделий электронной техники и эксплуатации действующего радиоэлектронного оборудования.

Действующим считается оборудование, которое находится под напряжением полностью или частично или на которое в любой момент может быть подано напряжение. Радиоэлектронным называется оборудование, принцип действия которого основан на использовании радиотехнических устройств, электронных, ионных, полупроводниковых и квантовых приборов.

В отношении мер безопасности различают оборудование с номинальным напряжением до 1000 В включительно и оборудование с напряжением выше 1000 В.

Персонал, непосредственно обслуживающий действующее оборудование, должен быть психически здоровым и не иметь болезней и увечий, препятствующих выполнению производственных операций.

Персонал, обслуживающий оборудование, обязан:

- 1) быть проинструктирован об особенностях обслуживания оборудования, аппаратуры, схем питания, приборов защиты в объеме, соответствующем его квалификации;
- 2) знать Правила по технике безопасности в частях, обязательных для данной должности, а также местные инструкции;
- 3) иметь отчетливое представление об опасностях при работе с оборудованием и мерах предупреждения несчастных случаев от электрического тока;
- 4) уметь оказать первую помощь пострадавшему в случаях поражения электрическим током или производственного травматизма;
- 5) уметь пользоваться средствами тушения пожара в электроустановках.

При производстве работ на действующем оборудовании выполняются технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность.

К техническим мероприятиям относятся: отключение оборудования; установка ограждений, вывешивание плакатов; проверка отсутствия напряжения; наложение заземлений.

К организационным мероприятиям относятся: оформление задания на работу; допуск к работе; надзор во время работы; оформление окончания работы.

Непосредственно организацию работы и оперативный контроль по технике безопасности осуществляет главный инженер лично и через работников отдела по технике безопасности, которые ему непосредственно подчинены.

Мероприятия по предупреждению несчастных случаев и производственного травматизма

На все виды работ на любом оборудовании существуют специально разработанные инструкции по условиям безопасной работы. В целях ознакомления с инструкциями и регулярного контроля знаний по технике безопасности проводятся инструктажи.

Вводный инструктаж (при поступлении на работу) проводится в кабинете по технике безопасности. Принимаемого на работу знакомят с основными положениями советского законодательства, правилами внутреннего распорядка, основными требованиями вакуумной и личной гигиены, с общими мерами предосторожности при выполнении различных работ.

Первичный инструктаж проводится на рабочем месте со всеми вновь поступившими в данное подразделение работниками. Работника знакомят с предстоящей работой, прорабатывают с ним положения по технике безопасности, инструкции, знакомят с оборудованием.

Очередной инструктаж проводится на рабочем месте через определенное время (обычно раз в квартал) в виде собеседования с лицами однородной профессии (откачки-вакуумщики, наладчики, токари и т. д.).

Внеочередной инструктаж проводится на рабочем месте для тех лиц, которые допустили нарушения требований по технике безопасности или применили опасные приемы работы.

Инструктаж перед вновь поручаемой работой проводится на рабочем месте перед новой, сложной или редко встречающейся работой.

Учащиеся, практиканты, дипломники и командированные перед выполнением работ инструктируются руководителем подразделения. Все виды инструктажа (кроме вводного) регистрируются в специальном журнале.

Кроме инструктажа один раз в год для II—V групп проводится периодическая проверка знаний Правил по технике безопасности квалификационными комиссиями. Результаты проверки оформляются в специальном журнале, при положительной оценке знаний выдаются персональные удостоверения, где указаны фамилия, должность проверяемого, оценка его знаний, установленная квалификационная группа (от II до V) при работе с напряжением до 1000 или выше 1000 В, дата проверки знаний и к каким видам работ допускается прошедший проверку работник.

Персонал различных профессий, которому присваивают I квалификационную группу, должен:

при поступлении на работу быть проинструктирован по технике безопасности и производственной санитарии в объеме, необходимом для выполнения работ;

изучить эксплуатационные и технологические инструкции, инструкции по технике безопасности и производственной санитарии, отражающие особенности выполняемой работы;

изучить на рабочем месте приемы безопасного выполнения операций на радиоэлектронном оборудовании;

проходить проверку знаний безопасных методов работы на радиоэлектронном оборудовании в объеме, необходимом для выполнения работы перед допуском к самостоятельной работе, а затем ежегодно;

проходить периодический инструктаж не реже одного раза в квартал на общих основаниях.

Присвоение I квалификационной группы оформляется в журнале. Удостоверение при этом не выдается.

Работы с радиоэлектронным оборудованием, на которые распространяются требования Правил, разделяются на следующие виды:

управление оборудованием (постановка и снятие изделия, соединения изделия с электрической частью оборудования, различные вспомогательные операции согласно технологической карте, включение и отключение

оборудования, управление работой отдельных блоков, измерение параметров, режимов оборудования и изделия);

техническое обслуживание оборудования (включение и отключение оборудования, осмотр оборудования, замена предохранителей, сигнальных ламп, приборов, устранение неисправностей, подсоединение и отсоединение средств откачки, кранов, вентилей и пр.);

ремонт оборудования (ремонтные работы, пробные включения оборудования);

наладка оборудования (выявление и устранение дефектов, проверка работоспособности отдельных блоков и оборудования в целом, измерение параметров, регулировка подстроечных элементов, испытание оборудования на прогон);

экспериментальные работы (проверка вновь разработанной технологии, проверка работоспособности экспериментального образца, макетирование и обследование оборудования).

Меры безопасности при откачке изделий электронной техники

При эксплуатации вакуумного оборудования и обращении с вакуумными приборами для работающих необходимо обеспечивать защиту:

от продуктов выхлопа откачных систем;

от осколков и частей вакуумных приборов при их возможном разрушении;

от побочных факторов — поражения электротоком, яркого свечения, лучистого тепла, рентгена, радиоактивности, СВЧ, электромагнитного поля, ожогов, обмороживания.

Откачные посты и работающие в сочетании с ними другие виды оборудования должны удовлетворять следующим требованиям:

органы управления различных устройств должны размещаться с учетом обеспечения безопасности и удобства работы;

все потребители электроэнергии должны отключаться общим выключателем на рабочем месте; откачные средства и элементы вакуумных систем должны иметь резервное питание электроэнергией;

не должно быть токоведущих частей, доступных случайному прикосновению;

технологические камеры, в которые помещаются приборы и обрабатываются при подаче электрического напряжения, оборудуются защитными блокировками, автоматическими замыкателями (механическими заземлителями);

в местах возможного излучения СВЧ энергии, рентгеновских излучений, электромагнитного поля должны устанавливаться экранировки и ограждения, обеспечивающие требования санитарных норм;

на панелях и пультах управления должна быть световая и звуковая сигнализация и соответствующие надписи у всех органов управления;

места заливки жидкого азота (гелия) в ловушки или насосы должны быть доступны и обеспечивать максимальное удобство и безопасность;

источники тепла для обезгаживания приборов должны исключать вероятность ожогов и поражения электрическим током;

при подведении электропитания от общих источников, установленных вне поля зрения работающего, должно оборудоваться устройство дистанционного управления, исключающее ошибочные действия персонала;

при наличии стеклянных вакуумных систем для ремонта их следует применять газовые горелки, снабженные приспособлением механического поддува, исключающие при напайке стеклянных вакуумных изделий подсос и поддув воздуха ртом.

Вакуумные изделия со стеклянной оболочкой объемом более 2 л при ручных перемещениях и в момент ручной постановки (снятия) на месте обработки надлежит покрывать мягкими чехлами из ткани для предупреждения травматизма при возможных случаях их разрушения.

Спайка откачанных вакуумных изделий с металлическим штенгелем должна осуществляться механизмом холодного спая согласно требованиям местной инструкции.

Для выполнения операций по соединению стеклянных изделий с резиновыми шлангами работающие должны надевать рукавицы из плотной ткани для исключения пореза рук при возможном разрушении стекла.

Защитные средства и классификация помещений

Защитными средствами называются такие приборы, аппараты и переносные приспособления, которые имеют целью защищать персонал, работающий в электроустановках, находящихся под напряжением, от поражения электрическим током, действия электрической дуги и т. п.

Защитные средства делятся на следующие группы: 1) изолирующие защитные средства; 2) переносные указатели напряжения тока; 3) переносные временные защитные заземления, ограждения, плакаты; 4) защитные средства от действия дуги — очки, рукавицы, противогазы.

Изолирующие защитные средства делятся на основные и дополнительные.

Основными считаются защитные средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение оборудования и посредством которых допускается прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При обслуживании оборудования до 1000 В к основным защитным средствам относятся диэлектрические перчатки и монтерский инструмент с изолирующими ручками; при обслуживании оборудования свыше 1000 В к основным защитным средствам относятся оперативные и измерительные штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, указатели напряжения.

Дополнительными считаются защитные средства, которые служат для повышения эффективности основных защитных средств.

При обслуживании оборудования до 1000 В к дополнительным защитным средствам относятся диэлектрические галоши, коврики, подставки, а свыше 1000 В — диэлектрические перчатки, боты, коврики и изолирующие подставки.

К защитным средствам относятся также и предупредительные плакаты: предупреждающие — «Стоять, опасно для жизни» и др.; запрещающие — «Не включать — работа на линии» и др.; разрешающие — «Работать здесь» и др.; напоминающие — «Заземление» и др.

К индивидуальным защитным средствам относятся защитные очки, противошумные наушники, технологическая и специальная одежда.

Помещения, в которых осуществляется обслужива-

ние действующего радиоэлектронного оборудования, по степени опасности поражения персонала электрическим током подразделяются на три категории:

1. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием одного из следующих признаков:

высокой (свыше 75%) относительной влажностью или токопроводящей пыли;

токопроводящих полов;

высокой (свыше 30°) температуры;

возможности одновременного прикосновения персонала к заземленным и токоведущим частям.

2. Особо опасные помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100%, длительно содержится химическая активная среда, разрушающая изоляцию (помещения аккумуляторных батарей) или имеется в наличии два или более признаков, характерных для помещений с повышенной опасностью.

3. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

§ 52. ПЕРВАЯ ДОВРАЧЕБНАЯ ПОМОЩЬ ПРИ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЯХ

Спасение пострадавшего от электрического тока или при других травматических факторах в большинстве случаев зависит от быстроты и правильности оказания пострадавшему первой помощи.

Весь персонал предприятия должен периодически проходить инструктаж по мерам безопасной работы, а также закреплять практические навыки и приемы оказания первой помощи.

При поражении электрическим током, в первую очередь, необходимо освободить пострадавшего от токоведущих элементов оборудования.

В зависимости от состояния пострадавшего ему необходимо оказать доврачебную помощь. Если пострадавший находится в сознании, до прибытия врача ему нужно обеспечить полный покой и непрерывное наблюдение за состоянием его здоровья. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся дыханием, его следует уложить ровно и удобно,

растянуть стесняющую дыхание одежду, создать приток свежего воздуха, удалить лишних людей и обеспечить полный покой до прихода вызванного врача. Если дыхание редкое и прерывистое, необходимо делать искусственное дыхание. При отсутствии признаков жизни (отсутствие дыхания, биения пульса, сердцебиения) нельзя считать пострадавшего мертвым, возможно эта мнимая смерть вызвана параличом органов дыхания. В этом случае следует немедленно приступить к искусственному дыханию и проводить паружный (не прямой) массаж сердца, нельзя допускать переохлаждения тела пострадавшего. Ни в коем случае не следует зарывать пострадавшего в землю, это не только бесполезно, но и вредно.

При ранении необходимо строго соблюдать следующие правила:

нельзя промывать рану водой или даже каким-либо лекарственным веществом, засыпать порошками и покрывать мазями, так как это препятствует заживлению раны, способствует занесению в нее грязи с поверхности кожи;

нельзя стирать с раны песок, землю и т. п., так как удалить таким способом все, что загрязняет рану, невозможно, при этом можно глубже втереть грязь и легче вызвать заражение раны. Очистить рану должен врач;

нельзя удалять из раны сгустки крови, так как это может вызвать сильное кровотечение;

нельзя заматывать рану изоляционной лентой.

Для оказания помощи надо вскрыть индивидуальный пакет, наложить на рану стерильный материал и перевязать его бинтом. Если индивидуального пакета нет, его можно заменить чистым носовым платком или другим чистым материалом.

При ожогах (чем бы они не были вызваны) паром, вольтовой дугой, горючей мастикой и т. п. следует поступать следующим образом:

снять с поврежденных мест платье, обувь (если необходимо, разрезать их). Рана от ожога, если она загрязнена, долго не заживает. Поэтому нельзя касаться руками обожженного участка кожи, смазывать его мазями, маслами, вазелином или раствором, не следует вскрывать пузыри ожогов, удалять приставшие к месту ожога мастики и другие вещества, так как можно со-

дирать кожу и вызвать загрязнения раны.

Обожженную поверхность следует перевязать, как и любую рану, стерильно чистым материалом, сверху наложить слой ваты и забинтовать. Пострадавшего необходимо направить в лечебное заведение.

При ожогах кислотами и щелочами пораженное место должно быть немедленно тщательно промыто быстротекущей струей воды из-под крана или из ведра.

При попадании инородного тела под кожу или ноготь, если его нельзя удалить полностью, следует срочно обратиться к врачу.

Необходимый комплект медикаментов в производственной аптечке: индивидуальный пакет, бинты, вата, жгут, настойка йода, борная кислота, нашатырный спирт, валериановые капли, питьевая сода, раствор уксусной кислоты (3%), марганцевистый калий, валидол, мыло, полотенце.

§ 53. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ГАЗАМИ И ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПОСТРАДАВШИМ

Наибольшую опасность для обслуживающего персонала представляют отравляющие, удушающие и взрывчатые горючие газы.

Отравляющими веществами в горючих газах являются: окись углерода СО и сернистые соединения типа сероводорода.

При содержании в окружающем воздухе 0,05% окиси углерода происходит отравление человека, а при концентрации 0,4—0,5% возможен смертельный исход. Еще более ядовит сероводород. Концентрация сероводорода в окружающем воздухе свыше 0,02% может привести к смерти. Смесь горючего газа с воздухом взрывоопасна. Основной причиной взрывов, пожаров и отравлений при работе с горючими газами является утечка газа. Чтобы избежать утечки газа, необходимо знать следующее:

газопроводы внутри помещения должны располагаться на высоте 2,5 м с хорошим доступом к местам разъемных соединений. При использовании нижней разводки газопровода должен обеспечиваться хороший доступ к нему для контроля плотности резьбовых соединений,

а также должны предусматриваться съемные щитки с отверстиями для циркуляции воздуха;

плотность резьбовых соединений газопровода следует проверять не реже одного раза в неделю по методу мыльного раствора;

над оборудованием, где осуществляется процесс сгорания горючего газа, необходимо устанавливать вытяжные зонты, соединенные с вытяжкой вентиляционной системой предприятия;

в помещении необходимо наладить периодический отбор проб воздуха.

Различают три степени отравления при работе с горючими газами: легкое, среднее и тяжелое.

Признаками легкого отравления окисью углерода являются: головная боль, шум в ушах, биение и давление в висках. При среднем отравлении у пострадавшего появляется тошнота и рвота. При тяжелом отравлении пострадавший теряет сознание.

При любой степени отравления пострадавшему необходимо оказать первую помощь, а в случае тяжелого отравления немедленно вызвать скорую медицинскую помощь и до ее приезда продолжать оказывать первую помощь.

Порядок оказания первой помощи при отравлении и удушье:

1) вывести пострадавшего из помещения, где произошло отравление или удушье, на улицу или в хорошо проветриваемое помещение и уложить его на бок, приняв меры предосторожности от возможного охлаждения;

2) освободить пострадавшего от стесняющей одежды (расстегнуть воротник, ослабить пояс и т. п.);

3) обрызгать лицо пострадавшего холодной водой; давать нюхать нашатырный спирт. При возможности дать подышать из кислородной подушки;

4) когда пострадавший придет в сознание, напоить его крепким чаем или кофе;

5) пострадавший не должен спать, при появлении судорог давать дышать сернокислым эфиром;

6) если пострадавший не приходит в сознание, то до появления врача скорой помощи необходимо делать ему искусственное дыхание. (Способ проведения искусственного дыхания рассмотрен в § 53).

При взрывах газов возможны следующие поражения: ушибы, ранения и ожоги.

Ушибленные места необходимо некоторое время охлаждать, прикладывая к ним снег, лед или тряпку, смоченную водой, а затем плотно забинтовать их. На рану нужно наложить повязку, не касаясь ее руками. Перед наложением повязки необходимо вымыть руки с мылом и смазать пальцы йодом.

При транспортировке пострадавшего лучше пользоваться носилками.

§ 54. МЕРЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Декрет Совета Народных Комиссаров «Об организации государственных мер борьбы с огнем», изданный в 1918 г. и подписанный В. И. Лениным, положил начало плановой борьбе за сохранность народного достояния и, в первую очередь, государственных предприятий.

Возникающие на предприятиях пожары приносят громадные убытки, часто являются причиной гибели людей, уничтожения материальных ценностей.

Наиболее частыми причинами возникновения пожаров в условиях предприятий электронной промышленности являются:

- недостатки в состоянии электронного и технологического оборудования, электропроводки, электроаппаратуры;

- неправильное ведение технологических процессов и нарушение правил эксплуатации оборудования;

- недостатки в устройстве и обслуживании отопительных установок и приборов;

- нарушение правил курения в производственных помещениях;

- самовоспламенение и самовозгорание некоторых веществ;

- разряды молний.

К основным причинам возникновения пожаров в электроустановках следует отнести: короткое замыкание, перегрузку проводов, искрение электродвигателей и коммутационных аппаратов, неисправность маслонаполненных аппаратов, небрежное обращение с огнем при ремонтных работах.

При эксплуатации электроустановок особое внимание необходимо обращать на правильный выбор максимальной токовой защиты, плавких предохранителей, тепло-

вой, полуавтоматической и автоматической защиты, так как при возникающих перегрузках и коротких замыканиях возможен перегрев токонесущего провода и связанное с этим возгорание изоляции.

При слабых контактах в местах соединения проводов, клеммных сборках машин и аппаратов возникают большие переходные сопротивления, что приводит к местному перегреву контактов и возгоранию изолирующих материалов даже при номинальных значениях тока.

Во взрыво- и огнеопасных помещениях необходимо применять электроаппаратуру во взрывозащищенном исполнении, а электропроводка должна быть выполнена с учетом специальных требований.

Осветительная сеть должна соответствовать технологическим требованиям, не должны перегреваться стеклянные колбы осветительных ламп, не должно быть неисправностей в электропроводке, розетках, выключателях, нельзя применять некалиброванные предохранители.

Часто причиной возникновения пожара является неисправность в электронагревательных устройствах, особенно при применении самодельных электроплиток, кипятильников, калориферов и т. д.

Применять переносные электронагревательные приборы, производить сварочные работы, пайку с использованием паяльных ламп можно только при наличии разрешения представителя пожарной охраны предприятия.

При возникновении пожара следует немедленно отключить электропитание на всем участке огнетушения, сообщить о возникновении пожара в пожарную команду. Первичные очаги пожара можно тушить, не дожидаясь отключения сети углекислотными огнетушителями типов ОУ-2, ОУ-5 и ОУ-8, а также сухим чистым песком, который после пожара может быть удален сжатым воздухом.

Вода является наиболее доступным и распространенным средством огнетушения, однако в ряде случаев применять воду недопустимо. При загорании легковоспламеняющихся горючих жидкостей, карбида кальция или натрия, селитры и металлического натрия вода может вызвать опасный взрыв.

При тушении водой установок, находящихся под напряжением, возможно поражение людей электрическим

током. Для тушения небольших очагов пожара часто применяют сухой песок. Для тушения пожара в установках, находящихся под напряжением и содержащих легко воспламеняющиеся жидкости, используют газ CO_2 , который снижает содержание кислорода в воздухе, чем ослабляет горение и гасит пламя. Кроме того, углекислый газ является плохим проводником электрического тока.

Жидкая углекислота, поступая из огнетушителя в пространство с атмосферным давлением, переходит в газообразное состояние (при испарении из 1 кг жидкой углекислоты получается 509 л). Во время работы огнетушителя его корпус значительно охлаждается, поэтому держать баллон следует за ручку.

Огнетушители нельзя помещать у нагревательных приборов, так как при температуре заряда, близкой к 50°C , может произойти разрыв предохранительной мембраны и саморазряд огнетушителя.

Комплекс технических мероприятий, направленных на предотвращение пожаров и взрывов, можно подразделить на следующие группы:

1. Устранение причин пожаров. Эта группа мероприятий определяет надлежащий выбор конструкций, режим работы и обслуживания всего парка оборудования, действующего на предприятии, и в первую очередь, электрооборудования, силовой и осветительной сети.

2. Локализация очагов пожара. Эти меры направлены против распространения пожара в случае его возникновения.

3. Обеспечение эвакуации людей и имущества из горящего здания. Эти меры предусматривают расстановку оборудования с соблюдением установленных проходов для эвакуации и передвижения пожарных машин и средств огнетушения.

4. Развертывание тактических действий по тушению пожара. Эти меры предусматривают возможность беспрепятственного подъезда к производственным зданиям, к пожарным водоемам, устройство наружных пожарных лестниц, удобное расположение средств огнетушения и пр.

Кроме перечисленных технических средств должны соблюдаться организационные меры, обеспечивающие противопожарные условия работы.

К организационным мерам относится создание доб-

ровольных пожарных дружин (ДПД), члены которых осуществляют повседневный контроль за соблюдением правил пожарной безопасности во всех подразделениях предприятия. Из членов ДПД создаются боевые пожарные расчеты, состоящие из начальника расчета и пяти номеров расчета. Боевой расчет выполняет как обязанности по предупреждению пожаров, так и обязанности по тушению пожаров, все это четко оговорено в инструкциях.

В каждом подразделении разработаны инструкции по пожарной безопасности, в которых отражены: общие положения; производство огнеопасных работ; противопожарный режим.

Инструкция по противопожарной безопасности утверждается главным инженером предприятия.

К работе на предприятиях допускаются лица, прошедшие инструктаж по соблюдению правил пожарной безопасности, обученные обращению с первичными средствами огнетушения, с правилами оказания первой помощи людям при загорании одежды и пострадавшим от ожогов.

Контрольные вопросы

1. Каковы обязанности персонала, обслуживающего действующее оборудование?
2. Какие виды инструктажа проводятся на предприятиях электронной промышленности?
3. На какие группы делятся защитные средства?
4. Как должна оказываться первая помощь при поражении электрическим током? При ранениях? При ожогах?
5. Назовите причины возникновения пожара на предприятии.

Глава XI. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

§ 55. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА

Развитие автоматизации производства привело к тому, что при выполнении трудовых операций человеком основная нагрузка ложится не на его мускульные усилия, а на психические процессы — восприятие, запоминание, мышление. При этом оператор несет ответственность за эффективную работу всей автоматизированной системы и допущенная им ошибка может привести к тяжелым последствиям.

Когда создается новое устройство, новая машина, то вместе с ним должна быть создана система «человек — машина — производственная среда». Машина должна быть удобной для человека во всех отношениях. Кроме того, необходимо учитывать условия, в которых работает человек; производственную среду, а также его физиологические, психические способности и возможности.

Изучением возможностей человека в трудовой деятельности с целью создания таких условий и методов ее организации, которые делают труд человека высокопроизводительным и вместе с тем обеспечивают удобство и безопасность работающему, сохраняют его здоровье, занимается новая наука — *эргономика* (греч. *ergon* — работа + *nomos* — закон). Эргономика охватывает совокупность трех наук — физиологии, психологии труда и анатомии.

Физиология труда — отрасль науки, изучающая и раскрывающая закономерности физических изменений функций организма человека под воздействием трудовой деятельности.

Психология труда — отрасль науки, изучающая и раскрывающая закономерности психических изменений, происходящих в организме человека под воздействием трудовой деятельности.

Каждая из этих отраслей ставит задачу установить причины, величину и направление этих изменений и выработать рекомендации для предупреждения или уменьшения патологических (ненормальных) сдвигов.

Физиология и психология труда тесно взаимосвязаны, так как они изучают целостный организм человека.

На человека воздействуют как явления внешней среды, так и раздражители, создаваемые самим человеком. Это находит свое отражение в трех функциях центральной нервной системы: рефлекторной, координационной и интегративной.

Одним из звеньев технической эстетики является художественное конструирование оборудования. Художественное конструирование — создание промышленных изделий, наиболее полно удовлетворяющих запросы человека, максимально соответствующих условиям эксплуатации, имеющих целостную форму и высокие эстетические качества.

§ 56. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ УСЛОВИЙ ТРУДА

Температура и влажность воздуха. Повышенная или пониженная против нормы температура и влажность воздуха вызывают дополнительные непроизводительные затраты энергии человека, снижают производительность труда.

При высокой температуре учащается дыхание, нарушается водный и солевой баланс организма в результате обильного потовыделения, температура тела может подниматься до 38—39°С. Потери воды в горячих производствах достигают 5—8 л за смену, т. е. 7—10% массы тела, а так как на испарение 1 г воды расходуется около 0,6 кал тепла, то общий расход в смену составляет 3000—4800 кал. В связи с этим мероприятия по поддержанию температурных норм обязательны при осуществлении НОТ. Эти нормативы установлены «Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий».

Шум и вибрация. Шум и вибрация с физической точки зрения — одно и то же, но шум воспринимается слухом, вибрация — осязанием.

Чрезмерный шум неблагоприятно сказывается на нервной и сердечно-сосудистой системе, на работе органов пищеварения, повышает кровяное давление. Длительное действие шума развивает глухоту. Шум вызывает чувство раздражения, а превышающий нормы приводит к быстрому утомлению, притупляет внимание.

Тот или иной уровень шума вызывает у человека различные ощущения: при уровне интенсивности звука 40—50 дБ вызывает чувство спокойствия и настоящего удобства. 60—80 дБ — лишь чувство удобства, 90 дБ — шум вполне приемлемый, 100 дБ — ощущения шумности, 110 дБ — ощущение настоящего шума, неприятное чувство, 120 дБ — чувство неловкости, а 130 дБ — мучительное чувство.

Наибольшее влияние оказывают высокочастотные звуки даже при одинаковой силе (уровне).

Шум характеризуется силой (уровнем) звука, определяемой в децибелах (дБ), частотой в герцах (Гц) и октавой — интервалом частот, в котором высшая частота в 2 раза больше низшей.

Вибрация может вызвать заболевания суставов, «вибрационную болезнь», нарушить двигательные рефлексы человека. Вибрация характеризуется частотой и амплитудой.

Запыленность и загазованность воздуха. В зависимости от размеров частиц, находящихся в воздухе, различают: пыль (свыше 10 мкм), туман (20—0,1 мкм), дым (менее 0,1 мкм). Промышленная пыль затрудняет дыхание человека и, закупоривая потовые железы, ухудшает потовыделение и испарение, что мешает нормальному терморегуляционному процессу.

Концентрация нетоксической пыли допускается в пределах 2—10 мг/м³ (в зависимости от рода пыли). Наиболее опасны для организма частицы Ø5—0,5 мкм; частицы большего диаметра не проникают в организм, а задерживаются в носу, горле; меньшие частицы, хотя и проникают, но выдыхаются наружу.

§ 57. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Работа по повышению культуры, эстетики производства и труда заключается в обеспечении чистоты и порядка на производстве, организации производственного интерьера, цветового оформления окружающих предметов, конструировании рабочей одежды, благоустройстве территорий, а также трансляции функциональной музыки.

Производственный интерьер — это архитектурно-художественное оформление (устройство) внутренних по-

мещений промышленных зданий. Основным закон создания рационального производственного интерьера — гармоничное сочетание содержания и формы. Содержанием производственной композиции является труд, и, следовательно, форма должна не отвлекать от труда, а способствовать ему. Поэтому архитектура производственного помещения, его окраска, освещение, оборудование, мебель, одежда и другие элементы интерьера — все должно наилучшим образом отвечать характеру труда и сочетать в себе красоту.

Контрольные вопросы

1. Чем занимается наука «эргономика»?
2. Какие эстетические требования предъявляются к оборудованию?
3. Назовите санитарно-гигиенические факторы условий труда.

ЛИТЕРАТУРА

- Бсшагин С. П. Огневое оснащение в электровакуумном производстве. М., «Энергия», 1967.
- Брюханов О. Н. Использование газа в электровакуумной промышленности. Л., «Недра», 1971.
- Любимов М. Л. Спай металла со стеклом. М., «Энергия», 1968.
- Роус Б. Стекло в электронике. М., «Советское радио», 1969.
- Голь М. М. Руководство по основам стеклотрубопроводного дела. М., «Химия», 1967.
- Эспе В. Технология электровакуумных материалов. Том II. М., «Энергия», 1968.
- Саркисов П. Д., Казаков В. Д. Технология стекла и стеклотрубопроводные работы. М., «Высшая школа», 1968.
- Гейнце В. Введение в вакуумную технику. М., Госэнергоиздат, 1960.
- Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М., «Мир», 1964.
- Королев Б. И. Основы вакуумной техники. М., «Энергия», 1967.
- Пипко А. И., Плисковский В. Я., Пенчко Е. А. Конструирование и расчет вакуумных систем. М., «Энергия», 1970.
- Цейтлин А. Б. Пароструйные вакуумные насосы. М., «Энергия», 1965.
- Шумский К. П. Вакуумные аппараты и приборы химического машиностроения. М., Машгиз, 1963.
- Глазков А. А., Милованова Р. А. Учебная лаборатория вакуумной техники. М., Атомиздат, 1971.
- Розанов Л. Н. Вакуумная техника. Конспект лекций. Ч. I. Л., Изд-во ЛПИ им. М. И. Калинина, 1971.
- Физика и техника вакуума. Изд-во Казанского университета, 1974.
- Тренделенбург Э. Сверхвысокий вакуум. М., «Мир», 1966.
- Эшбах Г. Л. Практические сведения по вакуумной технике. М., «Энергия», 1966.
- Ворончев Т. А., Соболев В. Д. Физические основы электровакуумной техники. М., «Высшая школа», 1967.

- Пауэр Б. Д. Высоковакуумные откачные устройства. М., «Энергия», 1969.
- Востров Г. А., Розанов Л. Н. Вакуумметры. М., «Машиностроение», 1967.
- Леск Дж. Измерение давления в вакуумных системах. М., «Мир», 1966.
- Вакуумная техника. Справочные материалы. М., «Реклама», 1975.
- Мартынова М. А., Гоникберг С. И. Вакуумные насосы. Обзоры по электронной технике. МЭП СССР, 1968.
- Средства безмасляной откачки. Обзор № 10, МЭП СССР. Серия «Технология и организация производства», 1966.
- Кузнецов В. И. Механические вакуумные насосы. М., Госэнергоиздат, 1959.
- Данилин Б. С., Минайчев В. Е. Основы конструирования вакуумных систем. М., «Энергия», 1970.
- Черепнин Н. В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М., «Советское радио», 1966.
- Балицкий А. В. Технология изготовления вакуумной аппаратуры. М., «Энергия», 1974.
- Александрова А. Т. Оборудование электровакуумного производства. М., «Энергия», 1974.
- Грошковский Я. Техника высокого вакуума. М., «Мир», 1975.
- Иориш А. Е., Кацман Я. А., Птицын С. В. Основы технологии производства электровакуумных приборов. М., Госэнергоиздат, 1961.
- Черепнин Н. В. Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике. М., «Советское радио», 1967.
- Пипко А. И., Плисковский В. Я., Пенчко Е. А. Оборудование для откачки вакуумных приборов. М., «Советское радио», 1967.
- Александрова А. Т., Бродский С. И., Сажин И. И., Ширенко Г. Н. Технологическое оборудование электровакуумного производства. М., Госэнергоиздат, 1962.
- Печатников М. Н., Востров Г. А., Умиков З. С., Волков В. Г. «Электронная техника», сер. 16. М., 1970.
- Орлов К. Н., Николаев Е. А., Коновалов В. Г. «Электронная промышленность», вып. I, 1971.
- Кирштейн Н. П., Николаев Е. А. Прогреваемые вакуумные разборные соединения с резиновыми уплотнителями. «Электронная техника», сер. I, № 3. М., 1968.
- Ланис В. А., Левина Л. Е. Техника вакуумных испытаний. М., Госэнергоиздат, 1963.

Карпов В. И., Левина Л. Е. Методы и аппаратура современной техники течения. Научно-технический сборник «Вакуумная техника», Казань, 1970.

Левин Г. Основы вакуумной техники. М., «Энергия», 1969.

Закиров Ф. Г., Ильин В. Н. «Электронная техника», сер. I, вып. 7, М., 1969.

Закиров Ф. Г., Ильин В. Н. «Электронная техника», сер. I, вып. I, М., 1975.

Воронков В. Д. Справочник инженера-организатора. М., «Московский рабочий», 1973.

Правила техники безопасности и производственной санитарии в электронной промышленности. М., «Энергия», 1973.

Трифонов А. М. Научная организация труда на производстве электромонтажных работ. М., «Энергия», 1971.

Мунипов В. М. Эргономика на службе производства. М., «Знание», 1970.

Гришин С. Ф., Гришина Е. Я., Коваленко В. А., Чернышенко В. Я. Журнал технической физики, т. XLII, вып. 9, Л., 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

Глава I. Условия труда и требования электронно-вакуумной гигиены на предприятиях электронной промышленности.	5
1. Условия трудовой деятельности	5
§ 2. Электронно-вакуумная гигиена	8

Глава II. Газовое хозяйство.	13
§ 3. Горючие газы, применяемые в электровакуумном производстве	13
§ 4. Основные свойства горючих газов	15
§ 5. Газовые горелки	18
§ 6. Газопроводы и газовая аппаратура	24

Глава III. Термическая обработка стекла.	32
§ 7. Свойства технических стекол	32
§ 8. Характеристика технических стекол	36
§ 9. Основы спаивания стекла с различными материалами.	39
§ 10. Конструкции спаев	45
§ 11. Отжиг стекла и спаев	49
§ 12. Стеклодувные работы	52
§ 13. Спаи с кварцевым стеклом	53

Глава IV. Законы и понятия вакуумной техники.	55
§ 14. Понятия «газ» и «пар».	55
§ 15. Давление газов и паров	56
§ 16. Понятие о вакууме.	58
§ 17. Поведение газа в условиях низкого и высокого вакуума.	61
§ 18. Основные газовые законы	64
§ 19. Процесс откачки и его основные характеристики.	68
§ 20. Режимы течения газов	73
§ 21. Пропускная способность диафрагм и трубопроводов.	75

Глава V. Контрольно-измерительная аппаратура в производстве изделий электронной техники	80
§ 22. Вакуумметры — измерители давлений	80
§ 23. Масс-спектрометры	93
§ 24. Приборы для измерения токов и напряжений	97
§ 25. Приборы для измерения и регулирования температуры	99
Глава VI. Устройство вакуумных насосов	101
§ 26. Классификация вакуумных насосов	101
§ 27. Характеристика вакуумных насосов	104
§ 28. Механические вакуумные насосы	105
§ 29. Эжекторные вакуумные насосы	118
§ 30. Диффузионные пароструйные насосы	119
§ 31. Понятие о безмасляной откачке	129
§ 32. Турбомолекулярные насосы	130
§ 33. Адсорбционные насосы	133
§ 34. Электрофизические вакуумные насосы	131
§ 36. Криогенные насосы	143
Глава VII. Устройство вакуумных систем	146
§ 36. Виды вакуумных систем	146
§ 37. Элементы вакуумных систем	147
§ 38. Неразъемные и разъемные соединения элементов вакуумных систем	153
§ 39. Металлы и сплавы для элементов вакуумных систем	158
§ 40. Неметаллические материалы для элементов вакуумных систем	163
Глава VIII. Технологический процесс откачки электровакуумных приборов	167
§ 41. Понятие об откачке	167
§ 42. Откачка электровакуумных приборов на откачных постах	169
§ 43. Откачка электровакуумных приборов на откачных машинах	181
§ 44. Откачка электровакуумных приборов с газопоглотителями	192
§ 45. Способы герметизации откаченных электровакуумных приборов	194
Глава IX. Вакуумное оборудование и его обслуживание	198
§ 46. Общие требования к вакуумно-термическому оборудованию	198
§ 47. Виды вакуумного оборудования и его назначение	202
§ 48. Устройство основных узлов откачных постов	215

§ 49. Требования к герметичности вакуумного оборудования и электровакуумных приборов	221
§ 50. Методы контроля вакуумной герметичности	224
Глава X. Техника безопасности на предприятиях электронной промышленности	230
§ 51. Общие положения	230
§ 52. Первая доврачебная помощь при несчастных случаях	236
§ 53. Правила техники безопасности при работе с газами и оказание первой помощи пострадавшим	238
§ 54. Меры пожарной безопасности	240
Глава XI. Организация труда и техническая эстетика на производстве	244
§ 55. Организация труда	244
§ 56. Санитарно-гигиенические факторы условий труда	245
§ 57. Техническая эстетика на производстве	246
Литература	248

- Закиров Ф. Г., Николаев Е. А.**
318 Откачник-вакуумщик. Учебник для технических училищ. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1977.

253 с. с ил. (Профтехобразование. Вакуумная техника).

В книге рассмотрены основные элементы вакуумных систем, включая средства откачки и контрольно-измерительные приборы. Дано описание различных видов вакуумно-термического оборудования и приемов их обслуживания, объяснена сущность технологических процессов откачки электровакуумных приборов и термической обработки стекла. Особое место в книге занимают вопросы электровакуумной гигиены, организации труда, техники безопасности, эргономики и технической эстетики на предприятиях электронной промышленности.

Во втором издании книги подверглись коренной переработке вопросы, связанные с контрольно-измерительными приборами и откачным оборудованием для системы АСУТП.

3 30407—358
052(01)—77 55—77

6Ф03

Фаэт Газимович Закиров
Евгений Алексеевич Николаев

ОТКАЧНИК-ВАКУУМЩИК

Редактор Г. А. Сильвестрович
Художник обложки Ю. Д. Федичкин
Художественный редактор Т. В. Панина
Технический редактор Л. А. Муравьева
Корректор М. А. Минкова

ИБ № 810

Т-13306. Сдано в набор 14/XII—76 г. Подп. к печати 28/VI—77 г.
Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип № 3. Объем 8 печ. л. Усл. п. л. 13,44.
Уч.-изд. л. 12,66. Изд. № ЭГ-290. Тираж 10 000 экз. Цена 45 коп.
План выпуска литературы издательства
«Высшая школа» (профтехобразование) на 1977 г. Позиция № 55.

Издательство «Высшая школа»,
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли,
Холмоковский пер., 7. Зак. 1875.