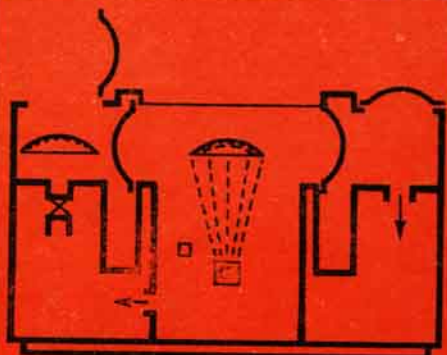


ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА



В.В.Одинокоев

ШЛЮЗОВЫЕ СИСТЕМЫ В ВАКУУМНОМ ОБОРУДОВАНИИ

ББК384

О 42

УДК 621.38

Одобрено Ученым советом Государственного комитета СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебного пособия для профессионально-технических учебных заведений.

Рецензент: И. Н. Рубцов, канд. техн. наук

Со всеми предложениями и замечаниями просим обращаться по адресу: 101430, Москва, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Одинокое В. В.

О42 Шлюзовые системы в вакуумном оборудовании: Учеб. пособие для проф.-техн. учеб. заведений. — М.: Высш. школа, 1981.—55 с., ил.— (Профтехобразование. Вакуумная техника).

5 к.

В учебном пособии рассмотрены основные виды вакуумного оборудования со шлюзовыми системами, объяснена сущность процессов шлюзования, а также дан краткий анализ их достоинств и недостатков. Кроме того, приведены конструктивные схемы и сравнительные характеристики шлюзовых систем, изложены основные принципы их компоновки и работы в технологическом оборудовании, а также основы расчета шлюзовых систем.

Брошюра является учебным пособием для преподавателей и мастеров профессионально-технических учебных заведений.

О 30407—431 54—81

2403000000

ББК384
6Ф03

ВВЕДЕНИЕ

Задачи, поставленные Коммунистической партией и Советским правительством перед электронной промышленностью, ориентируют ее на интенсивное внедрение новых технологических процессов, высокопроизводительного оборудования, массовый выпуск изделий повышенного качества.

Многие прогрессивные технологические процессы включают нанесение покрытия в вакууме, в первую очередь при изготовлении тонкопленочных элементов интегральных схем. Важная роль здесь принадлежит вакуумному оборудованию, повышение производительности которого — задача технически сложная. Для ее выполнения применяют групповые устройства загрузки и обработки изделий, высокопроизводительные устройства нанесения покрытия, скоростные откачные средства.

Шлюзовые системы загрузки и выгрузки изделий позволяют рационально и эффективно повышать производительность оборудования и качество изделий. В связи с этим все более широко применяют эти системы, хотя они достаточно сложны, специфичны и требуют умелой эксплуатации.

В настоящей брошюре, рассчитанной на преподавателей и мастеров профессионально-технических учебных заведений, приведены конструктивные решения и даны практические рекомендации по проектированию, расчету и эксплуатации вакуумного оборудования со шлюзовыми системами.

Изложенный материал в основном иллюстрируется сведениями по разработке вакуумного оборудования со шлюзовыми системами в микроэлектронике. Однако приведенные технические решения применяются и в других отраслях народного хозяйства, где используется вакуумная техника.

ГЛАВА I

ВИДЫ ШЛЮЗОВЫХ СИСТЕМ И ОСНОВЫ ИХ ПОСТРОЕНИЯ

Вакуумная шлюзовая система (ШС) — это совокупность устройств герметизации, транспортирования и откачки, обеспечивающих определенный перепад давлений и перемещение изделий между вакуумными камерами с различным давлением.

В зависимости от степени герметизации вакуумных камер относительно друг друга шлюзовые системы можно разделить на закрытые, открытые, полуоткрытые и комбинированные:

закрытые имеют уплотнители и характеризуются полной герметизацией вакуумных камер относительно друг друга;

открытые не имеют уплотнителей и характеризуются отсутствием герметизации вакуумных камер относительно друг друга;

полуоткрытые (полузакрытые) имеют уплотнители и характеризуются частичной герметизацией вакуумных камер относительно друг друга;

комбинированные характеризуются сочетанием закрытых, открытых и полуоткрытых шлюзовых систем.

§ 1. Закрытые шлюзовые системы

В наиболее простом варианте закрытая шлюзовая система представляет вакуумную шлюзовую камеру с двумя затворами, одним из которых она герметично отделена от рабочей (вакуумной) камеры, а другим от атмосферы (обычно это загрузочное окно с крышкой). Внутри шлюзовой камеры имеется устройство для передачи изделия в рабочую камеру.

Работу шлюзовой системы осуществляют в такой последовательности. Сначала закрывают откачной патрубком 5 (рис. 1, а) шлюзовой камеры 4, заполняют ее воздухом до атмосферного давления, а затем открывают крышку 2 и устанавливают в шлюзовую камеру изделие 3, после чего крышку закрывают. Далее откачивают воздух из шлюзовой камеры до давления, равного или близкого давлению воздуха в рабочей камере 1. Затем открывают затвор 6 (рис. 1, б) между шлюзовой и рабочей камерами и транспортируют изделия в рабочую камеру. Обработав изделия в рабочей камере, их выгружают в обратной последовательности.

Более сложные шлюзовые системы состоят из нескольких шлюзовых камер, отделенных друг от друга герметичными затворами. Если шлюзовая 4 и рабочая 1 камеры соединены узким каналом (рис. 1, в) для транспортирования изделий 3, для герметизации канала часто используют заслонки или уплотнительные ролики 6 (из резины) круглого сечения. Ролик 6 открывает и закрывает канал, на поверхности которого имеется углубление 7 цилиндрической формы.

В закрытых шлюзовых системах затвор должен отвечать следующим эксплуатационным требованиям:

быть простым по конструкции и механически прочным;

иметь минимальную величину натекания в закрытом положении, герметичное уплотнение между фланцем и корпусом, а также гладкую внутреннюю поверхность затвора, чтобы уменьшить конденсацию на ней водяных паров, когда полость шлюзовой камеры заполнена воздухом из атмосферы;

обеспечивать герметичность в широком диапазоне перепадов давлений. На работу затвора не должно оказывать влияния направление перепадов давления;

выдерживать большое количество срабатываний;

не снижать работоспособности при нагреве.

К закрытым шлюзовым системам относятся также устройства, в которых вакуумные камеры с различным давлением герметично разделены жидкостью, образующей жидкостный затвор 6 (рис. 1, г).

Изделие 3 (лента или проволока) поступает в вакуумную рабочую камеру 1 через жидкостный затвор, который расположен в канале U-образной формы, где жидкость под действием атмосферного давления занимает

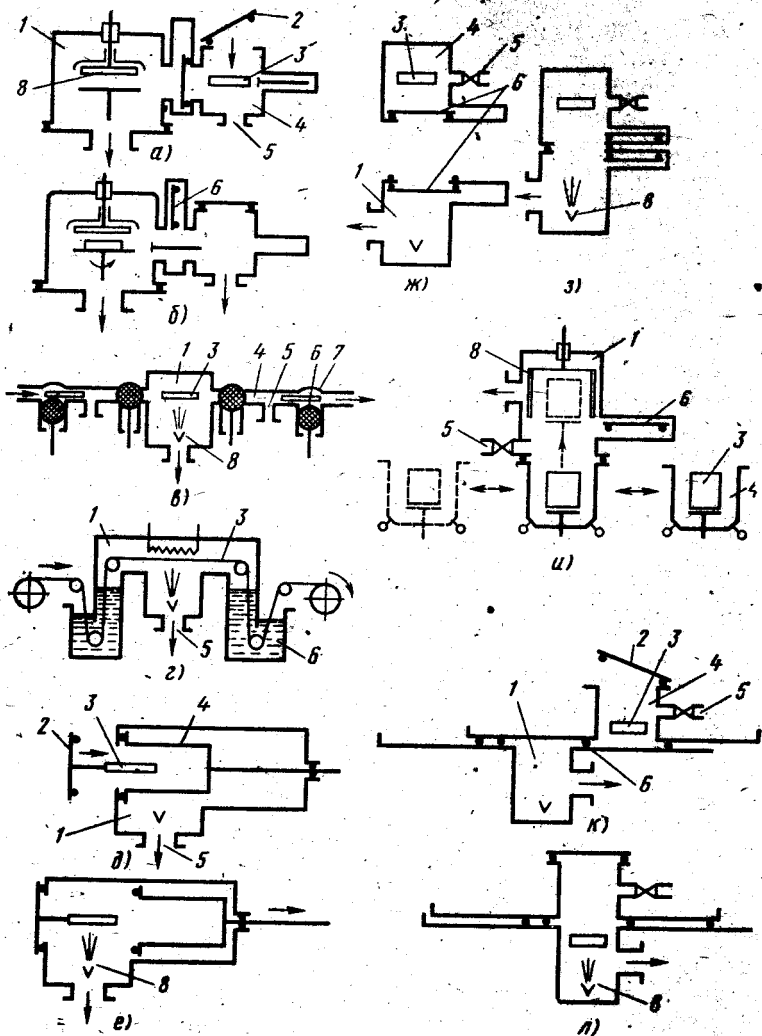


Рис. 1. Закрытые шлюзовые системы:

а и *б* — с одной неподвижной шлюзовой камерой в закрытом и открытом положениях, *в* — с двумя неподвижными шлюзовыми камерами, *г* — без шлюзовых камер, *д* и *е* — с подвижной шлюзовой камерой в закрытом и открытом положениях, *ж* и *з* — с переносной шлюзовой камерой в закрытом и открытом положениях, *и* — с передвигающейся шлюзовой камерой, *к* и *л* — с передвигающейся шлюзовой камерой и скользящим затвором в закрытом и открытом положениях; 1 — рабочая камера, 2 — съемная крышка, 3 — изделие, 4 — шлюзовая камера, 5 — откатной патрубок, 6 — затвор, 7 — цилиндрическое углубление, 8 — источник нанесения покрытия

разные уровни. Жидкость, применяемая для закрытых шлюзовых систем, должна иметь малое давление парообразования, высокую плотность, малую химическую активность и низкую способность смачиваемости. Подобрать такую уплотняющую жидкость сложно.

Вакуумные масла, обладающие малым давлением парообразования, имеют ограниченное применение из-за низкой плотности (высота столба масла, уравнивающего атмосферное давление, составляет 11—13 м).

Ртуть, обладающая относительно высоким давлением парообразования, также имеет ограниченное применение. Пары ртути вызывают коррозию металлических деталей, а также вредны для организма человека. Легкоплавкие материалы и сплавы, применяемые в качестве жидкостного затвора, имеют достаточно высокую плотность, но налипают на протягиваемый материал, что усиливается окислением их поверхности при контакте с воздухом.

Для устранения налипания уплотняющей жидкости на изделие со стороны вакуумной камеры помещают жидкость с малым давлением парообразования, например вакуумное масло, образующее тонкую пленку на этом изделии. Со стороны атмосферы помещают другую защитную жидкость, которая очищает изделие от пленки масла, следов уплотняющей жидкости и образует защитное или декоративное покрытие на нем. Избыток защитной жидкости удаляют с изделия скребками, воздушными или газовыми струями.

Разновидностью закрытых шлюзовых систем являются устройства, в которых подвижная шлюзовая камера размещена внутри вакуумной рабочей камеры (рис. 1, *д* и *е*) или вне ее (рис. 1, *ж—л*).

Шлюзовая камера 4 (рис. 1, *д*) прижимается открытым отверстием к стенке рабочей камеры 1. В месте стыковки шлюзовой и рабочей камер имеется съемная крышка 2 для загрузки и выгрузки изделий 3. После загрузки изделий откачивают воздух из шлюзовой камеры и перемещают ее от стенки рабочей камеры (рис. 1, *е*). Далее начинают наносить пленку на неподвижные изделия.

Переносная шлюзовая камера 4 (рис. 1, *ж*), предназначенная для загрузки и выгрузки изделий, должна находиться в специальном помещении с обеспыленной атмосферой, в котором ее герметизируют и откачивают. После этого шлюзовую камеру 4 переносят и устанавли-

вают на рабочую камеру 1, а затем открывают затворы 6. Далее начинают наносить покрытие на изделие 3 из источника 8.

Для загрузки крупногабаритных изделий и изделий с большой массой используют передвижные шлюзовые камеры 4 (рис. 1, и). Изделия подъемным механизмом загружают в шлюзовую камеру, которую устанавливают под рабочей камерой 1. Затем откачивают воздух из шлюзовой камеры через патрубок 5 и открывают затвор 6. После этого изделия перемещают в рабочую камеру 1 с источником 8 нанесения покрытия.

Корпус подвижной шлюзовой камеры 4 используют в качестве затвора рабочей камеры 1 (рис. 1, к). Сначала загружают изделие 3, открывая крышку 2, а затем через патрубок 5 откачивают шлюзовую камеру и перемещают ее к рабочей камере 1. После соединения шлюзовой камеры с рабочей изделие 3 переносят к источнику 8 нанесения покрытия (рис. 1, л).

Закрытые шлюзовые системы отличаются простотой конструкции и надежностью в эксплуатации, благодаря этим качествам они нашли наибольшее применение в промышленном и лабораторном вакуумном оборудовании.

§ 2. Открытые шлюзовые системы

В открытых шлюзовых системах вакуумные камеры сообщаются между собой межкамерными каналами, через которые перемещается транспортирующее устройство 3 с изделиями 6 (рис. 2). Форма транспортирующего устройства такой шлюзовой системы повторяет форму межкамерных каналов 1 и 4. Межкамерные каналы создают частичное сопротивление поступлению воздуха из атмосферы в шлюзовые камеры 2-и из них в рабочую камеру 5. Откачные средства шлюзовых камер откачивают часть воздуха, поступившего из канала 1, и создают небольшое разрежение. Остальную часть воздуха, поступившего из межкамерного канала 4, откачивает откачное средство рабочей камеры, создавая рабочий вакуум.

Чем меньше зазоры (щели) между стенками межкамерных каналов и транспортирующего устройства и чем больше длина этих каналов, тем больше сопротивление потоку воздуха, в результате чего можно создать более

низкое давление в шлюзовых и рабочей камерах. Такое уплотнение шлюзовых камер называют *диффузионно-щелевым*. С помощью уплотнения такого типа можно обеспечить транспортирование изделий, имеющих постоянную форму поперечного сечения (листы, полосы, проволока, лента, прутки и т. п.), а также кассет, спутников и других держателей изделий.

Наибольшее распространение в производстве микросхем и полупроводниковых приборов нашли держатели изделий прямоугольного и круглого профилей.

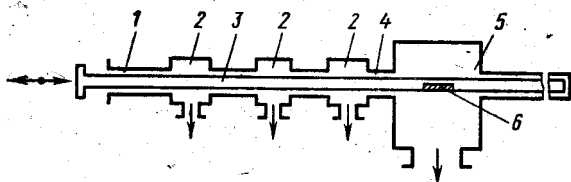


Рис. 2. Многокамерная открытая шлюзовая система:

- 1 — канал в шлюзовую камеру, 2 — шлюзовые камеры, 3 — транспортирующее устройство (шток), 4 — канал в рабочую камеру, 5 — рабочая камера, 6 — изделие

Количество шлюзовых камер в открытой шлюзовой системе, зазоры в межкамерных каналах и откачные средства выбирают в зависимости от давления, которое необходимо создать в рабочей камере. Чтобы достичь в рабочей камере более низкого давления, применяют многокамерную (многоступенчатую) шлюзовую систему, разделенную несколькими межкамерными каналами, и оснащают ее более эффективными откачными средствами.

Всасываемый в открытую шлюзовую систему поток воздуха можно уменьшить, если на входе первого межкамерного канала создать встречную воздушную струю кольцевой формы. Струя сжатого, выходящего с большой скоростью, воздуха способствует уплотнению шлюзовой системы и обладает откачивающим действием. Вакуум, образуемый в первой шлюзовой камере под действием струи сжатого воздуха, зависит от геометрии сопла, формы выпускной камеры, скорости истечения воздуха и может достигать 1330 Па.

На рис. 3 дана схема открытой шлюзовой системы, которая состоит из шлюзовой камеры 9 с откачным средством, камеры высокого давления 6, межкамерных кана-

дов 5, 8 и 10, эжекторного сопла 1, камеры смещения 2 и диффузора 3. Транспортирующее устройство 4 (например, лента, проволока, блок держателей изделия и т. д.) вводят через каналы в рабочую камеру 11.

Для уменьшения потока воздуха, поступающего в шлюзовую камеру 9, подается сжатый воздух от компрессорной установки, из-за чего в эжекторном сопле 1 образуется высоконапорная струя, при истечении которой во входном сечении камеры смешения 2 устанавливается

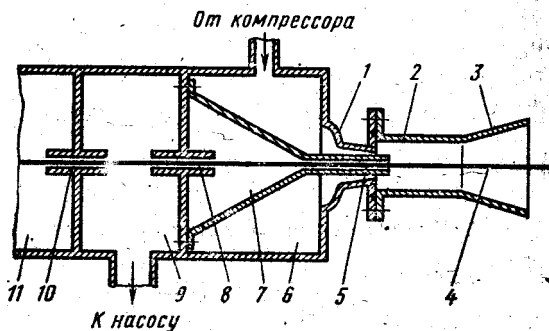


Рис. 3. Многокамерная открытая шлюзовая система с дополнительным устройством, препятствующим натеканию воздуха:

1 — эжекторное сопло, 2 — камера смещения, 3 — диффузор, 4 — транспортирующее устройство, 5, 8 и 10 — каналы, 6 — камера высокого давления, 7 и 9 — шлюзовые камеры, 11 — рабочая камера

давление меньше атмосферного. Даже при отключенных откачных средствах камер 9 и 11 воздух из них через камеру 7 и канал 5 будет поступать в камеру смещения 2 и оттуда, увлекаемая высоконапорной струей, к диффузору 3, в котором скоростной напор воздуха примет статическое давление, равное атмосферному.

Проходя область встречного потока воздуха, затем область разрежения в камере 7, которая является первой ступенью откачки шлюзовой системы, транспортирующее устройство через канал 8 поступает во вторую ступень откачки, т. е. шлюзовую камеру 9 и т. д.

К недостаткам открытых шлюзовых систем можно отнести:

попадание в межкамерные каналы (вместе с поступающим воздухом) различных частиц, которые загряз-

няют поверхность изделий, повышают силу трения и приводят к заклиниванию трущихся поверхностей;

появление задиров на сопряженных поверхностях межкамерных каналов и устройств транспортирования; коробление и потерю работоспособности шлюзовой системы при нагреве устройств транспортирования;

сложность герметизации межкамерных каналов при выключении откачных средств;

высокую стоимость изготовления межкамерных каналов и устройств транспортирования.

Для устранения недостатков открытых шлюзовых систем на входе первого канала устанавливают скафандры с обеспыленной средой, увеличивают зазоры между сопряженными поверхностями, а для обеспечения необходимого вакуума в шлюзовых камерах используют более мощные откачные средства. Кроме того, трущиеся поверхности шлифуют, полируют, наносят на них хромовое покрытие, а также смазывают их пастами, например, на основе дисульфида молибдена.

Межкамерные каналы и транспортирующие устройства изготавливают из материалов с одинаковым коэффициентом линейного расширения и интенсивно охлаждают, устраняя разницу в тепловом расширении.

§ 3. Полуоткрытые шлюзовые системы

Уплотнитель, применяемый в полуоткрытой шлюзовой системе, позволяет значительно уменьшить поток воздуха из атмосферы через межкамерные каналы. В результате этого уменьшаются габариты шлюзовой системы, используются менее мощные откачные средства и могут быть увеличены зазоры в межкамерных каналах.

В качестве уплотнителей 1 (рис. 4, а) в полуоткрытых шлюзовых системах применяют пластины, выполненные из материала с малым коэффициентом трения, например различные фторопласты и капрон, которые закрепляют в межкамерном канале и поджимают к поверхности изделия (ленты) резиновыми прокладками. Эластичность резиновых прокладок позволяет транспортировать ленты с различной толщиной (до 2 мм). Износ пластин из-за постоянного трения ограничивает применение таких уплотнителей в полуоткрытых шлюзовых системах.

Большим ресурсом работы обладают роликовые уплотнители. В многоступенчатой полуоткрытой шлюзовой

системе для ввода ленты в рабочую камеру и вывода из нее используют резиновые вращающиеся ролики 1 (рис. 4, б). Оси роликов устанавливают в цилиндрические межкамерные каналы и приводят во вращение движущейся лентой, при этом зазоры между лентой и роликом практически отсутствуют и натекание воздуха в местах стыка незначительно. Воздух проникает только в зазоры

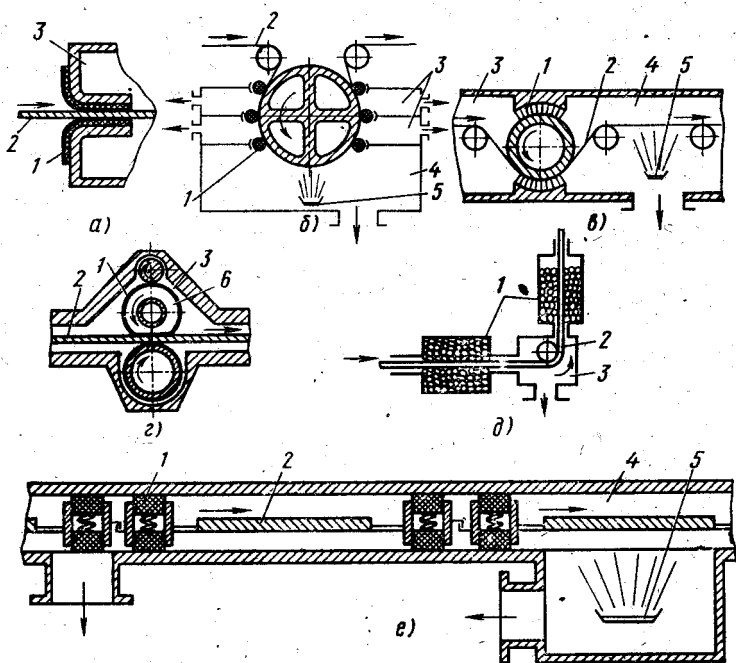


Рис. 4. Полуоткрытые шлюзовые системы с уплотнителем в виде: а — неподвижных пластин, б — роликов, в — мембран, г — полых роликов, д — гранул, е — подвижных пластин; 1 — уплотнитель, 2 — изделие, 3 — шлюзовая камера, 4 — рабочая камера, 5 — источник нанесения покрытия, 6 — пещель со сжатым воздухом

между роликами и цилиндрическими межкамерными каналами. Для его откачки используют двухступенчатую откачную систему на входе и выходе ленты из рабочей камеры.

Однако рассмотренные полуоткрытые шлюзовые системы не позволяют транспортировать ленты с большим диапазоном толщин, а также отдельные плоские изде-

лия. При использовании других полуоткрытых шлюзовых систем этот недостаток устраняется.

Уплотнитель полуоткрытой шлюзовой системы (рис. 4, в) состоит из нескольких плоских эластичных мембран, которые одним концом закреплены на стенках межкамерного канала, а другим прижимаются к поверхности ленты и приводного барабана. При изменении толщины ленты и движений ее стыков эффективность уплотнителя не снижается.

В полуоткрытой шлюзовой системе (рис. 4, г) уплотнитель выполнен в виде полых роликов, которые не трутся о поверхность изделий. Внутри одного из пустотелых роликов с эластичной поверхностью подают сжатый воздух. При прохождении, например, плоских изделий, стыков лент поверхность этого ролика деформируется, не нарушая герметичности устройства. Другой пустотелый эластичный ролик (приводной) имеет внутри жесткую обечайку, соединенную с приводом.

Полуоткрытая шлюзовая система (рис. 4, д), в которой уплотнителем служат гранулы, размещенные в межкамерных каналах, отличается простотой конструкции. Уплотняются гранулы к ленте под действием силы тяжести, а в горизонтальном канале шлюзовой системы, кроме того, потоком воздуха, всасываемым со стороны входного отверстия.

В полуоткрытых шлюзовых системах (рис. 4, е) подпружиненные подвижные уплотнители, установленные по торцам кассеты, уплотняют межкамерный канал. В кассетах загружают крупногабаритные изделия различной формы в рабочую камеру. Для поддержания постоянного рабочего давления в рабочей камере длина кассеты должна быть меньше межкамерного канала.

К недостаткам полуоткрытых шлюзовых систем можно отнести: быстрый износ уплотнителей, в особенности работающих на трении скольжения; повреждение рабочей поверхности уплотнителей при попадании твердых частиц и нарушение герметичности шлюзовой системы; выход из строя уплотнителей при перегреве транспортирующего устройства или стенок межкамерного канала.

Если уплотнитель в межкамерном канале шлюзовой системы практически не создает сопротивления потоку воздуха, эффективность такой системы равноценна открытой, если уплотнитель ограничивает почти весь поток воздуха, она равноценна закрытой.

§ 4. Комбинированные шлюзовые системы

В вакуумном оборудовании широко применяют комбинированные шлюзовые системы. При большой разнице давления в шлюзовых камерах между ними применяют закрытые или полуоткрытые шлюзовые системы, наиболее рационально и экономично используя откачные средства. При малой разнице давлений между этими камерами применяют открытые шлюзовые системы.

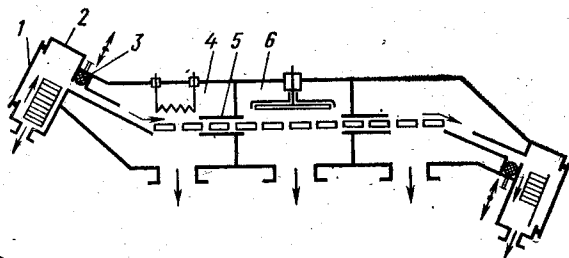


Рис. 5. Комбинированная шлюзовая система:
1 — затвор (крышка), 2 — шлюзовая камера загрузки, 3 — затвор (эластичный ролик), 4 — шлюзовая камера нагрева, 5 — межкамерный канал, 6 — рабочая камера

В вакуумной установке с комбинированной шлюзовой системой (рис. 5) первую ступень откачки герметизируют от атмосферы и последующих ступеней затворами 1 и 3 (закрытая ШС), а шлюзовую камеру откачивают форвакуумным насосом. Камеру нагрева 4, которая является второй ступенью откачки, откачивают высоковакуумным насосом и соединяют с рабочей камерой 6 межкамерным каналом 5 (открытая ШС). Канал также обеспечивает перепад давлений. В рабочей камере в этом случае давление может достигнуть 10^{-7} Па, так как на нее почти не влияет первая ступень откачки комбинированной шлюзовой системы.

Комбинированные шлюзовые системы разнообразны, поскольку в них сочетаются закрытые, открытые и полуоткрытые системы.

Контрольные вопросы

1. Каковы отличительные особенности различных шлюзовых систем?
2. Какими средствами осуществляют герметизацию вакуумных камер между собой в закрытых, открытых и полукрытых шлюзовых системах?
3. Каковы недостатки различных шлюзовых систем и как их устранить?

ГЛАВА II

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛЮЗОВЫХ СИСТЕМ В ВАКУУМНОМ ОБОРУДОВАНИИ

§ 5. Классификация вакуумного оборудования

Одним из критериев совершенства вакуумного оборудования является непрерывность технологического процесса обработки изделий, при которой рабочие и холостые операции совмещены во времени, а непроизводительные потери рабочего времени отсутствуют.

Рабочее время, затрачиваемое на выполнение технологических операций нанесения покрытия в вакуумном оборудовании со шлюзовыми системами, складывается в большинстве случаев из времени, отведенного на основные (нанесение покрытия) и вспомогательные рабочие операции (нагрев, очистку, травление, охлаждение и т. д.). Кроме того, существуют холостые операции: напуск воздуха в камеры; загрузка и выгрузка изделий; откачка камер; перемещение изделий между шлюзовыми и рабочими камерами, а также между источниками обработки изделий.

Непрерывность технологического процесса может быть сохранена при постоянном воздействии на изделия источника обработки (нанесения покрытия). В этом случае достаточно непрерывно или периодически удалять одно или несколько изделий из зоны групповой обработки и дополнять ее необработанными.

В вакуумном оборудовании непрерывность технологического процесса можно обеспечить только с помощью шлюзовой системы. Однако не всегда при использовании шлюзовой системы удается полностью совместить время рабочих и холостых операций.

Совмещение времени рабочих и холостых операций определяет характер действия вакуумного оборудования, а также приближение прерывистого технологического процесса к непрерывному.

По степени совмещения рабочих и холостых операций вакуумные установки могут быть:

периодического действия (УПД), характеризующиеся прерывистостью технологического процесса, при котором рабочие и холостые операции не совмещены во времени;

полунепрерывного действия (УПНД), характеризующиеся прерывистостью технологического процесса, при котором рабочие и холостые операции частично совмещены во времени;

непрерывного действия (УНД), характеризующиеся непрерывностью технологического процесса, при котором рабочие и холостые операции полностью совмещены во времени.

Установки периодического действия могут быть двух видов — без шлюзовых и со шлюзовыми системами.

В установках полунепрерывного действия в зависимости от степени совмещения рабочих и холостых операций определяют, к какому типу (периодическому или непрерывному) приближается это оборудование.

§ 6. Шлюзовые системы в установках периодического действия

В установках периодического действия наибольшее распространение получили закрытые шлюзовые системы, которые обычно выполняют в виде одной шлюзовой камеры, отделяемой от рабочей герметичным затвором.

При загрузке изделий в шлюзовую камеру в рабочей камере поддерживается готовность источника нанесения покрытия и определенное давление. При нанесении покрытий в рабочей камере шлюзовая остается пустой (в ожидании возвращения обработанных изделий). Откачивают шлюзовую камеру обычно до давления, равного давлению рабочей камеры или более низкого, для того, чтобы уменьшить загрязнение газовой среды рабочей камеры при сообщении ее со шлюзовой.

Иногда с целью упрощения вакуумной системы шлюзовую камеру откачивают только форвакуумным насосом. В этом случае ограничения вноса загрязнений в ра-

бочую камеру достигают уменьшением размеров шлюзовой камеры, несмотря на то, что при этом уменьшается количество загружаемых изделий и снижается производительность.

Загрязнения в рабочую камеру могут попадать с обрабатываемых изделий, их держателей, а также в результате газыделения элементов конструкции рабочей и шлюзовой камер. Поэтому часто процесс обезгаживания (прогрев) изделий с держателями и самих шлюзовых камер совмещают. Время охлаждения изделий после нанесения покрытия уменьшают напуском в шлюзовые камеры инертных или других химически неактивных газов.

На рис. 6 показана установка периодического действия с закрытой шлюзовой системой, отличающаяся от

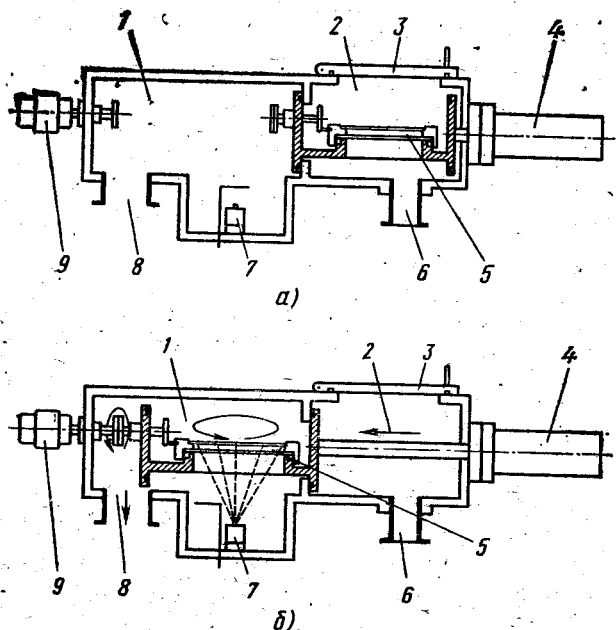


Рис. 6. Установка периодического действия с закрытой шлюзовой системой во время загрузки и выгрузки изделий (а) и нанесения покрытия (б):

1 — рабочая камера, 2 — шлюзовая загрузочно-выгрузочная камера, 3 — крышка шлюзовой камеры, 4 — привод транспортирующего устройства и затворов, 5 — держатель изделий, 6 — откачной патрубков шлюзовой камеры, 7 — испаритель, 8 — откачной патрубков рабочей камеры, 9 — привод вращения держателя изделий

установки с одной шлюзовой камерой своеобразным исполнением транспортирующего устройства и шлюзовых затворов, объединенных общим приводом.

Установка оснащена плоским держателем изделий 5, который вращается в зоне покрытия, что способствует равномерному нанесению пленки. В рабочей камере 1 поддерживают постоянное рабочее давление и готовность источника нанесения покрытия. Шлюзовая камера 2 периодически сообщается с атмосферой для загрузки и выгрузки изделий. Транспортирующее устройство переносит держатель изделий из шлюзовой камеры в рабочую

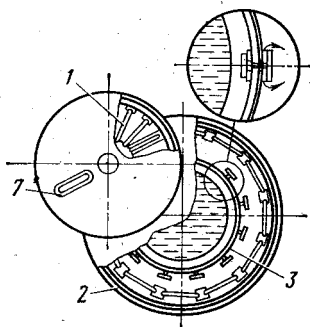
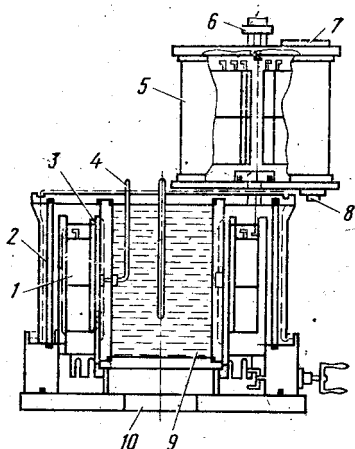


Рис. 7. Установка периодического действия с закрытой шлюзовой системой:

1 — держатель изделий, 2 — водяная рубашка, 3 — цилиндрический катод (мишень), 4 — трубопровод подачи рабочего газа, 5 — шлюзовая загрузочно-выгрузочная камера, 6 — транспортирующее устройство, 7 — отверстие для загрузки изделий в шлюзовую камеру, 8 — откачной патрубок шлюзовой камеры, 9 — водоохлаждаемый держатель катода, 10 — откачной патрубок рабочей камеры

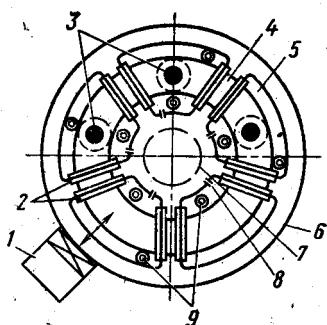


Рис. 8. Установка периодического действия с комбинированной шлюзовой системой:

1 — шлюзовая камера загрузки-выгрузки, 2 — межкамерные каналы, 3 — источник нанесения покрытия, 4 — транспортирующее устройство (кольцо), 5 — секции, 6 — рабочая камера, 7 — откачной патрубок, 8 — дросселирующие отверстия, 9 — опоры вращения кольца

и обратно. Однако установка может обеспечить лишь периодическую обработку изделий и не совмещает рабочие и холостые операции.

Достоинствами установки периодического действия являются малое изменение газовой среды в рабочей камере и готовность к нанесению покрытия. Повысить производительность подобных установок можно, увеличив количество одновременно загружаемых и обрабатываемых изделий.

На рис. 7 приведена схема установки периодического действия с закрытой шлюзовой системой, состоящая из рабочей и загрузочно-выгрузочной шлюзовой камер. Два изделия располагают на держателе 1, выполненном в виде рамки. В верхней крышке шлюзовой камеры 5 имеется радиальное герметично перекрываемое отверстие 7 для загрузки изделий, а в нижней — такое же отверстие с затвором для транспортирования их в рабочую камеру.

В шлюзовую и рабочую камеры можно загружать по двенадцать держателей изделий, нанося покрытие одновременно на площадь 2500 см². Держатели опускаются в рабочую камеру автоматически, совершая один оборот вокруг катода 3, в результате чего на изделия наносится покрытие. После этого держатели возвращаются в магазин шлюзовой камеры. Такие установки, как правило, имеют большую рабочую и меньшую шлюзовую камеру, на откачку которой затрачивается мало времени, что повышает их производительность.

В многооперационной установке периодического действия со шлюзовой системой, приведенной на рис. 8, внутрикамерное транспортирующее устройство (кольцо) 4 перемещается через пять секций 5, находящихся между внутренней стенкой вакуумной рабочей камеры 6 и соосным с ней откачным патрубком 7 высоковакуумного насоса. Пять секций, три из которых имеют источники 3 нанесения покрытия, откачиваются через дросселирующие отверстия 8.

Секции, разделенные двойной системой каналов 2, и промежутки между каналами откачиваются этой же вакуумной системой. Такое построение позволяет одновременно откачивать все секции при различных давлениях в них и осуществлять высоковакуумную блокировку их друг от друга.

Как видно из схемы, в установке имеется закрытая шлюзовая система, состоящая из шлюзовой камеры 1

загрузки-выгрузки изделий, и открытая система, расположенная между пятью секциями рабочей камеры.

В установках периодического действия также используют открытые шлюзовые системы (рис. 9), состоящие из трех шлюзовых камер, сообщающихся между собой каналами. В каждой шлюзовой камере установлен подпружиненный клиновидный затвор 2, который закрывает отверстие для прохода подвижного транспортирующего

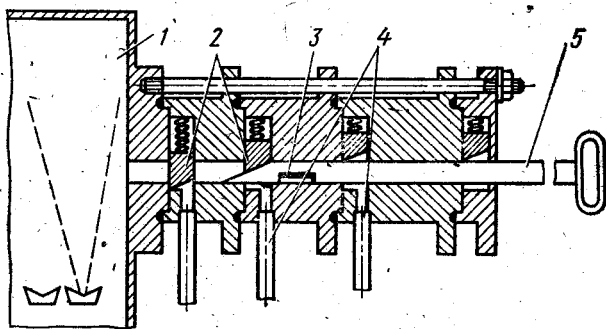


Рис. 9. Установка периодического действия с открытой шлюзовой системой:

1 — рабочая камера, 2 — клиновые затворы, 3 — изделие, 4 — откачные патрубки, 5 — транспортирующее устройство (штока)

устройства 5. Конец транспортирующего устройства выполнен в виде клина, который при движении поочередно открывает клиновые затворы 2.

Зазоры между корпусом установки, транспортирующим устройством и клиновыми затворами создают сопротивление натеканию воздуха в рабочую камеру. Часть воздуха, проникающая через зазоры в шлюзовые камеры, а также воздух, находящийся в загрузочной полости транспортирующего устройства (штока) 5, откачивается через откачные патрубки 4. Клиновые затворы обеспечивают поддержание необходимого вакуума в рабочей камере 1 при полном извлечении из шлюзовой системы штока с изделиями.

Производительность такой установки ограничена, так как за один цикл загрузки обрабатывается одно изделие, несмотря на то что время загрузки и выгрузки изделий и откачки загрузочной полости небольшое.

Чтобы повысить производительность установки периодического действия со шлюзовой системой, нужно сократить время откачки шлюзовых камер, уменьшить объемы этих камер и оснастить их высокопроизводительными откачными средствами. Кроме того, следует увеличить количество загружаемых изделий, используя групповые носители и магазинные устройства, а также совместить вспомогательные рабочие операции с основными, обрабатывая изделия на нескольких позициях, и ускорить процесс охлаждения изделий в шлюзовой камере напуском инертного газа.

§ 7. Шлюзовые системы в установках полунепрерывного действия

В вакуумном оборудовании применяют различные установки полунепрерывного действия, в которых так же, как в установках периодического действия, используют одну шлюзовую камеру. Для частичного совмещения рабочих и холостых операций в шлюзовой камере размещают два и более держателя изделий. Например, в установке, приведенной на рис. 10, а, в шлюзовой камере 2 можно разместить два групповых держателя 3 изделий. Одновременно с нанесением покрытия на держатель в рабочей камере 7 в шлюзовой обезгаживают нагревателем 8 другой держатель изделий.

Перед выгрузкой держателя изделий из рабочей камеры обезгаженный держатель снимают с транспортирующих роликов 1 подъемным устройством 4, установленным на съемной крышке 5 шлюзовой камеры 2, освобождая место для транспортирования держателя изделий из рабочей камеры. Далее обезгаженный держатель опускают на ролики 1, транспортируют в рабочую камеру 7 и закрывают затвор 6. Одновременно с нанесением покрытия в рабочей камере из шлюзовой выгружают держатель с нанесенным покрытием и затем загружают и обезгаживают необработанный держатель изделий. Если время загрузки и выгрузки держателей, откачки шлюзовой камеры и предварительной обработки будет меньше или равно времени нанесения покрытия в рабочей камере, производительность установки значительно повысится. Недостаток установки заключается в том, что из-за большого объема шлюзовой камеры увеличивается непроизводительное время ее вакуумирования.

Увеличения производительности и степени совмещения рабочих и холостых операций в установках часто достигают дифференцированием, т. е. одновременным проведением рабочих и холостых операций на нескольких позициях в рабочих и шлюзовых камерах.

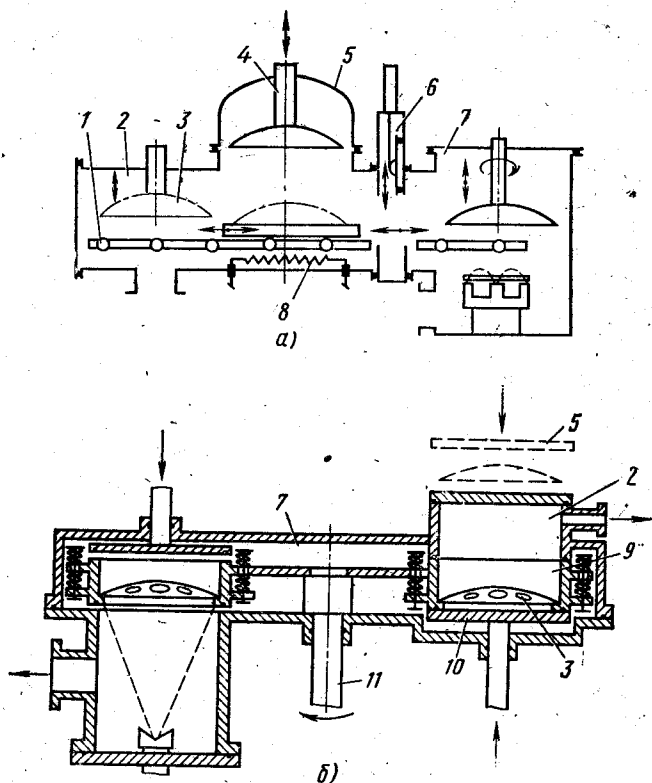


Рис. 10. Установка полунепрерывного действия с закрытой шлюзовой системой:

a — с двумя групповыми держателями в шлюзовой камере, *б* — с одним групповым держателем в шлюзовой камере; 1 — транспортирующие ролики, 2 — шлюзовая камера, 3 — держатель изделий, 4 — подъемное устройство, 5 — съемная крышка, 6 — затвор, 7 — рабочая камера, 8 — нагреватель, 9 — цилиндр, 10 — подвижная плита, 11 — транспортирующее устройство (карусель)

В установке полунепрерывного действия (рис. 10, б) почти полностью совмещено время холостых, вспомогательной и основной рабочей операций. Для этого в установке имеется шлюзовая камера 2 для загрузки-выгруз-

ки изделий и рабочая камера 7 с транспортирующим устройством 11, выполненным в виде карусели с четырьмя цилиндрами, в которых размещаются групповые держатели 3 изделий. Для загрузки-выгрузки изделий на верхней стенке шлюзовой камеры имеется съемная крышка 5, а на нижней — подвижная плита 10.

При перемещении подвижной плиты вверх герметизируется внутренняя полость цилиндра 9 относительно рабочей камеры и в нее напускается воздух для загрузки-выгрузки изделий. В такой установке применена закрытая шлюзовая система, в которой каждый из четырех цилиндров транспортирующего устройства поочередно выполняет роль части шлюзовой камеры. Загрузку-выгрузку, нагрев, нанесение покрытия и охлаждение изделий производят соответственно в четырех позициях рабочей камеры 7. Цикл нанесения покрытия в установке прерывается во время поворота цилиндров из одной позиции в другую.

На рис. 11 приведена схема установки полунепрерывного действия, состоящая из одной рабочей и двух шлюзовых камер, одну из которых используют для загрузки групповых держателей, а вторую — для выгрузки. В загрузочной шлюзовой камере 1, кроме того, производят нагрев изделий, а в выгрузочной 7 — охлаждение. Нане-

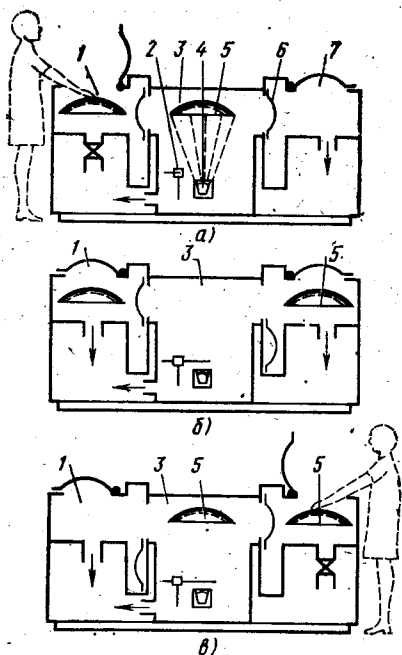


Рис. 11. Установка полунепрерывного действия линейной компоновки с двумя шлюзовыми камерами:

а — загрузка изделий и нанесение покрытия, *б* — откачка загрузочной шлюзовой камеры и перемещение обработанных изделий, *в* — перемещение необработанных и выгрузка обработанных изделий; 1 — шлюзовая камера загрузки, 2 — заслонка, 3 — рабочая камера, 4 — источник нанесения покрытия, 5 — держатель изделий, 6 — затвор, 7 — шлюзовая камера выгрузки

сение покрытия прерывают лишь во время транспортирования изделий из загрузочной шлюзовой камеры в рабочую 3 и из рабочей — в шлюзовую камеру выгрузки 7.

Большой производительностью обладает установка (рис. 12), в которой используют две загрузочно-выгрузочные шлюзовые камеры 2 и 5 (закрытая ШС) и магазины держателей изделий. Во время съема обработанных изделий, загрузки новой партии, откачки воздуха и нагрева изделий в шлюзовой камере 5 из шлюзовой ка-

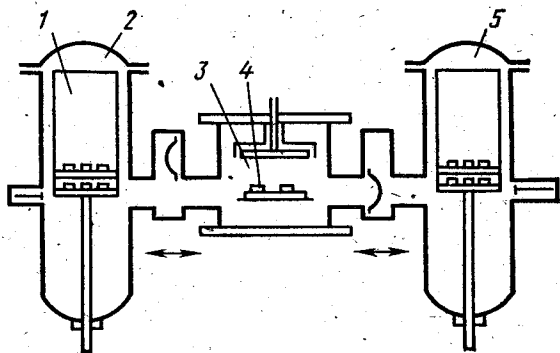


Рис. 12. Установка полунепрерывного действия линейной компоновки с двумя шлюзовыми загрузочно-выгрузочными камерами:

1 — магазин держателей изделий, 2 и 5 — шлюзовые загрузочно-выгрузочные камеры, 3 — рабочая камера, 4 — изделие

меры 2 изделия 4 транспортируют в рабочую камеру 3 для нанесения покрытия. Одновременно с герметизацией шлюзовой камеры 2 происходит разгерметизация шлюзовой камеры 5 с рабочей 3, после чего процесс нанесения покрытия возобновляется.

Время, затрачиваемое на выгрузку обработанных изделий, загрузку нового магазина и откачку шлюзовой камеры, меньше времени, затрачиваемого на обработку изделий в рабочей камере. Нанесение покрытия прерывается во время смены держателя изделий в рабочей камере.

Установки полунепрерывного действия, показанные на рис. 11 и 12, имеют линейную компоновку. Кроме того, в вакуумном оборудовании применяют установки с двумя шлюзовыми камерами круговой компоновки, которые

более компактны по сравнению с аналогичными установками линейной компоновки.

Так, в установке, приведенной на рис. 13, над рабочей камерой находится закрытая шлюзовая система, состоящая из двух шлюзовых камер 1 и 2 с магазинами держателей изделий. Держатель изделий подается на карусель 3 рабочей камеры, под которой расположен источник 4 нанесения покрытия.

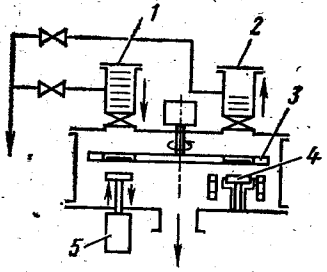


Рис. 13. Установка полунепрерывного действия круговой компоновки с закрытой шлюзовой системой:

1 и 2 — шлюзовые загрузочная и выгрузочная камеры, 3 — транспортирующее устройство (карусель), 4 — источник нанесения покрытия, 5 — подъемное устройство держателя изделий

В установках полунепрерывного действия широко используют комбинированные шлюзовые системы. На рис. 14 приведена установка, в которой рабочая 4 и высоковакуумные шлюзовые камеры 3 и 5 разделены между собой каналами (открытая ШС), а на загрузочной и выгрузочной шлюзовых камерах 1 и 7 имеются затворы 2 и 6 (закрытая ШС). Разность давлений в рабочей 4 и высоковакуумных шлюзовых камерах 3 и 5 поддерживается за счет щелевых

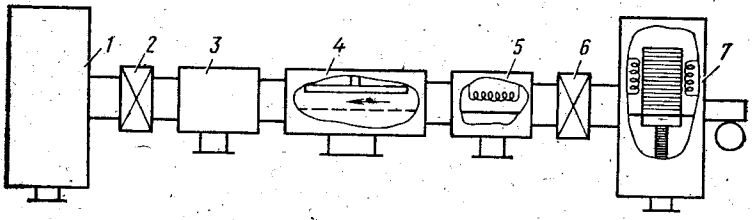


Рис. 14. Установка полунепрерывного действия линейной компоновки с комбинированной шлюзовой системой:

1 — шлюзовая выгрузочная камера, 2 и 6 — затворы, 3 — высоковакуумная шлюзовая камера охлаждения, 4 — рабочая камера с источником нанесения покрытия, 5 — высоковакуумная шлюзовая камера нагрева, 7 — шлюзовая загрузочная камера с магазином держателей изделий и нагревателем

каналов, расположенных между транспортирующим устройством изделий и стенками межкамерных каналов. При достаточно низких давлениях щелевые каналы создают значительное сопротивление перетеканию газа меж-

ду камерами. Высоковакуумную шлюзовую камеру 5 используют для нагрева изделий, а камеру 3 — для охлаждения. Кроме того, высоковакуумные шлюзовые камеры блокируют более низким давлением рабочую, что способствует уменьшению проникновения загрязнений в нее из шлюзовых камер 1 и 7 после их сообщения с атмосферой.

Наряду с перечисленными в вакуумном оборудовании применяют установки с полуоткрытой шлюзовой системой (рис. 15), в которых загружают, выгружают и транс-

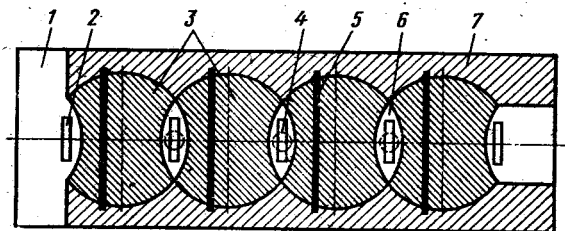


Рис. 15. Установка полунепрерывного действия линейной компоновки с полуоткрытой шлюзовой системой:

1 — позиция загрузки и выгрузки изделий, 2 — держатель изделий, 3 — транспортирующее устройство (роторы), 4 — откачной патрубок, 5 — уплотнитель, 6 — шлюзовые камеры, 7 — корпус шлюзовой системы

портируют изделия сцепленными друг с другом роторами 3. Между корпусом установки 7 и роторами 3 имеются зазоры, которые создают сопротивление протеканию воздуха между шлюзовыми камерами 6.

Для уменьшения потока воздуха в откачную систему шлюзовых камер используют уплотнители 5, выполненные из материала с низким коэффициентом трения. Уплотнители закреплены в корпусе и скользят по поверхности роторов. Держатели изделий, находящиеся внутри откачиваемых шлюзовых камер, переносятся последовательно поворачивающимися на пол-оборота роторами.

Процесс нанесения покрытия прерывается во время вращения роторов. Производительность такой установки определяется длительностью поворота ротора на 180° и временем нанесения покрытия в рабочей камере. По степени совмещения рабочих и холостых операций установка близка к непрерывной.

Повышению производительности установок полунепрерывного действия способствует дифференцирование холостых, вспомогательных и основных рабочих операций, а также использование нескольких шлюзовых загрузочно-выгрузочных камер и разделение процессов загрузки-выгрузки изделий на отдельные шлюзовые камеры. В таких установках наибольшее применение нашли закрытые шлюзовые системы.

§ 8. Шлюзовые системы в установках непрерывного действия

В установках непрерывного действия, как и в перечисленных выше, применяют различные шлюзовые системы.

В закрытой шлюзовой системе (рис. 16) имеются шлюзовые камеры загрузки 2 и выгрузки 5. Первый магазин 3 с держателями изделий загружают сначала в шлюзовую камеру загрузки 2. После откачки этой камеры магазин перемещают в рабочую камеру 1, последовательно перегружая держатели изделий 8 к источнику 7 нанесения покрытия. Возвратно-поступательным механизмом 4 на карусели 6 одновременно можно обрабатывать несколько изделий.

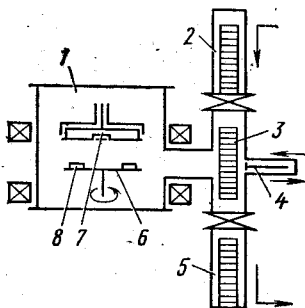


Рис. 16. Установка непрерывного действия с закрытой шлюзовой системой:

1 — рабочая камера, 2 и 5 — загрузочная и выгрузочная шлюзовые камеры, 3 — магазин держателей изделий, 4 — возвратно-поступательный механизм, 6 — карусель, 7 — источник нанесения покрытия, 8 — держатель изделия

После заполнения изделиями всех позиций на карусели при каждом ходе возвратно-поступательного механизма 4 необработанное изделие из магазина перемещается на карусель 6, а обработанное — возвращается в ячейку магазина.

При выходе первого магазина из загрузочной шлюзовой камеры 2 ее герметизируют от рабочей камеры, напускают воздух, загружают второй магазин с необработанными изделиями и откачивают. В это же время первый магазин из рабочей камеры постепенно перемещают в шлюзовую камеру выгрузки 5. После откачки загрузочной шлюзовой камеры 2 второй магазин перемещают

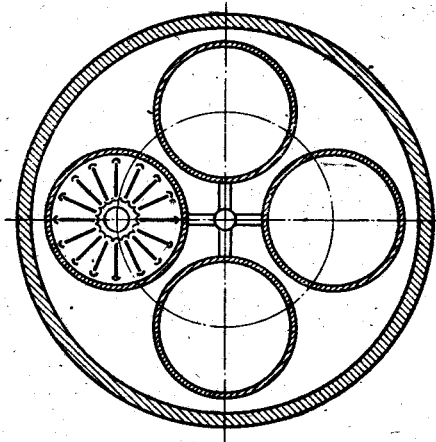
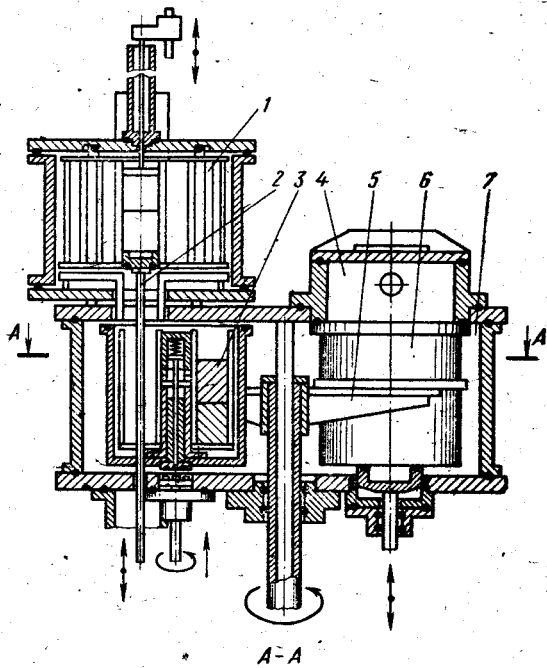


Рис. 17. Установка непрерывного действия круговой компоновки с комбинированной шлюзовой системой:

1 — рабочая камера, 2 — толкатель, 3 — изделие, 4 — шлюзовая загрузочно-выгрузочная камера, 5 — карусель, 6 — цилиндр, 7 — высоковакуумная шлюзовая камера

в рабочую камеру до совмещения с первым магазином. Обработав все изделия в первом магазине, его выгружают через шлюзовую камеру выгрузки 5.

Таким образом обеспечивают постоянный ритм загрузки и выгрузки изделий на карусель 6.

Непрерывность технологического процесса нанесения покрытия в установках непрерывного действия можно обеспечить с помощью одной шлюзовой загрузочно-выгрузочной камеры 4 (рис. 17). Между шлюзовой камерой 4 и рабочей 1 находится вспомогательная высоковакуумная шлюзовая камера 7, в которой размещена карусель 5 с четырьмя цилиндрами 6. Внутри цилиндров установлены магазины с изделиями 3.

В первой позиции высоковакуумной шлюзовой камеры располагается загрузочно-выгрузочная камера, во второй — производится нагрев и обезгаживание изделий, в третьей — перемещение изделий толкателями 2 в рабочую камеру и из нее, в четвертой — охлаждение изделий.

Благодаря дифференцированию операций обработки и групповой загрузки изделий, производительность установки не ограничена временем загрузки-выгрузки и откачки шлюзовой камеры, а также временем перемещения цилиндров из одной позиции в другую. Поэтому в установке можно полностью совместить рабочие и холостые операции.

Для нанесения покрытия в вакууме применяют открытые и полуоткрытые шлюзовые системы с неразрывным транспортным каналом для перемещения изделий, который проходит через несколько рабочих и шлюзовых камер, соединенных между собой и с атмосферой межкамерными каналами.

Зазоры между каналами и элементами транспортирующего устройства обеспечивают свободное движение и создают сопротивление натеканию воздуха из атмосферы. Каждая камера снабжена откачным средством воздуха, поступающего через зазоры. Таким образом давление в шлюзовых камерах понижается ступенчато.

В установке непрерывного действия (рис. 18, а) с неразрывным транспортным каналом для нанесения покрытия на плоские изделия девять шлюзовых и две рабочие камеры соединены между собой и атмосферой каналами, в которых находится одновременно 45 держателей изделий. Зазоры между стенками каналов и держателями изделий составляют сотые доли миллиметра.

Четыре шлюзовые камеры на входе и четыре — на выходе обеспечивают откачку рабочих камер до давления ниже $7 \cdot 10^{-4}$ Па, при этом в крайних шлюзовых камерах поддерживается давление $5 \cdot 10^2$ Па. Вакуумная система рабочих и шлюзовых камер состоит из диффузионных паромасляных и механических насосов. В средней

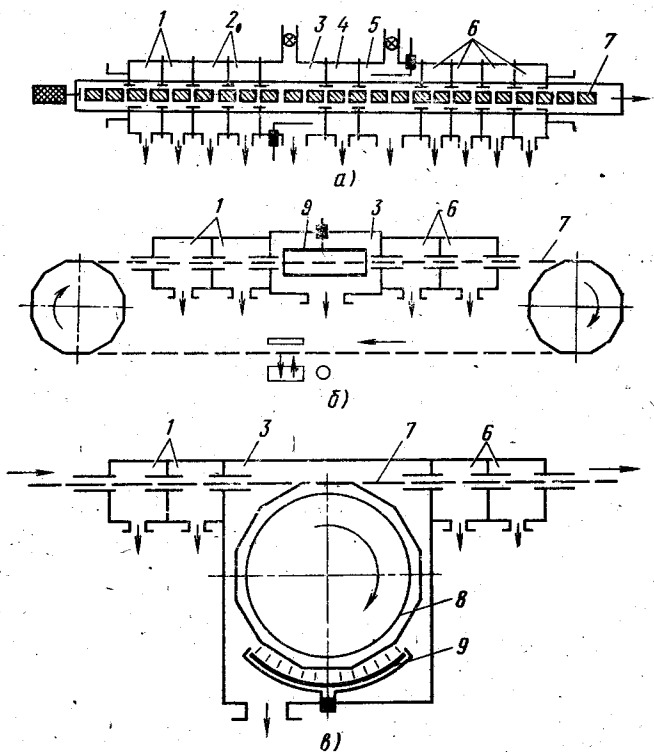


Рис. 18. Установка непрерывного действия с открытыми шлюзовыми системами и транспортирующим устройством:

а — толкательным, *б* — конвейерным, *в* — комбинированным; 1 и 2 — шлюзовые загрузочные камеры, 3 и 5 — рабочие камеры, 4 — высоковакуумная шлюзовая камера, 6 — шлюзовые выгрузочные камеры, 7 — держатель изделий, 8 — барабан, 9 — источник нанесения покрытия

шлюзовой (буферной) камере 4, предназначенной для устранения взаимного влияния газовых сред двух рабочих камер, поддерживают более высокий вакуум.

Шлюзовые камеры 2 используют для предварительного нагрева изделий. В рабочих камерах 3 и 5 наносят

покрытия сначала на нижнюю, а затем на верхнюю поверхность изделий. Через камеры 6 изделия выгружают, одновременно охлаждая их. Концевые отсеки на входе и выходе установки закрыты скафандрами с очищенным от пыли воздухом.

Транспортирующим устройством в установке (рис. 18, б) является конвейер, образованный сцепленными между собой цилиндрическими держателями 7 изделий. Приводной барабан перемещает конвейер к месту загрузки-выгрузки изделий. Несмотря на удобство обслуживания; из-за длительного контакта с воздухом конвейер быстро загрязняется, а линейная компоновка шлюзовых камер увеличивает габариты установки.

Комбинированное транспортирующее устройство (рис. 18, в) состоит из группового держателя изделий рабочей камеры и держателя изделий транспортного канала, расположенного между шлюзовыми загрузочной 1 и выгрузочной 6 камерами. Групповая обработка изделий в таком устройстве позволяет значительно повысить производительность установки.

Для непрерывного технологического процесса нанесения покрытия на ленточный материал используют установки с неразрывным транспортным каналом. (В данном случае лента является транспортирующим устройством.) Чтобы уменьшить натекание воздуха из атмосферы, в таких установках используют полуоткрытые шлюзовые системы (см. рис. 4, а — д).

В установке непрерывного действия (рис. 19) загрузку изделий осуществляют транспортирующим устройством (ротором), имеющим один паз для размещения изделия. Откачивают шлюзовое загрузочное устройство 1 форвакуумным насосом. Внутри установки имеется замкнутый гибкий конвейер 5, которым транспортируют изделия.

Рабочая 4 и высоковакуумные шлюзовые камеры 2 и 6 разделены между собой перегородками с каналами для прохождения конвейера. Между камерами установки и в шлюзовых устройствах применена открытая шлюзовая система. При работе установки осуществляют непрерывную высоковакуумную откачку шлюзовых камер нагрева 2 и охлаждения 6. Для высоковакуумной откачки рабочей камеры 4 открывают затвор 8.

Для нанесения пленок в рабочей камере 4, закрывая затвор 8, устанавливают давление 1,3 Па и откачивают

рабочий поток газа через зазоры между конвейером 5 и каналами 3. Таким образом в шлюзовых камерах 2 и 6 поддерживают более высокий вакуум, чем в рабочей 4, что уменьшает загрязнение ее газовой среды. При изменении скорости конвейера и режима работы устройства нанесения покрытия изменяется толщина пленки и производительность установки.

В подобных установках со шлюзовыми загрузочными устройствами используют открытые и комбинированные шлюзовые системы. Шлюзовые устройства такого типа применяют для разделения между собой рабочих

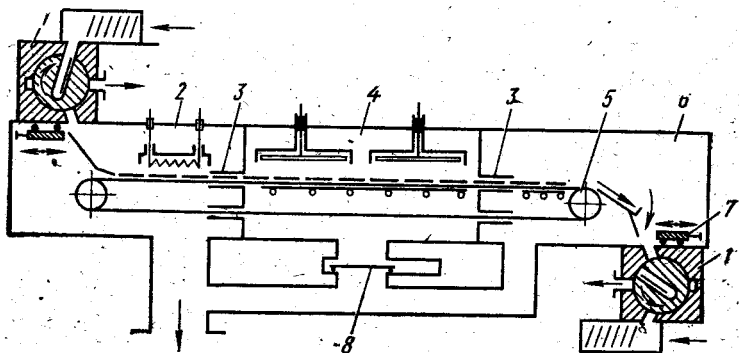


Рис. 19. Установка непрерывного действия со шлюзовыми загрузочными устройствами:

1 — шлюзовое загрузочное устройство, 2 — высоковакуумная шлюзовая камера нагрева, 3 — межкамерные каналы, 4 — рабочая камера, 5 — конвейер, 6 — высоковакуумная шлюзовая камера охлаждения, 7 и 8 — затворы

и шлюзовых камер, что позволяет поддерживать значительный перепад давлений между камерами и уменьшать взаимное влияние их газовых сред.

Шлюзовые загрузочные устройства компактны, конструктивно просты и позволяют сохранять качество рабочей поверхности изделий. Кроме того, в таких устройствах не применяют держатели. Увеличивая количество вакуумных камер в шлюзовых устройствах, создают большой перепад давлений между атмосферой и рабочей камерой. Чем меньше объем загрузочной полости в шлюзовом устройстве, тем меньше времени его откачивают и меньше вносят загрязнений в газовую среду рабочей камеры.

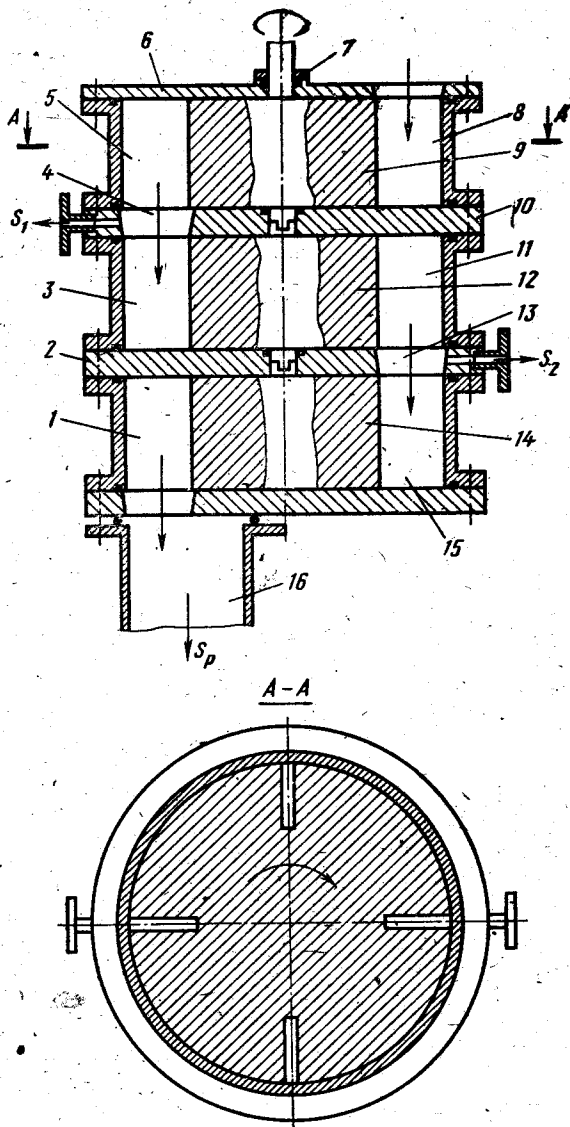


Рис. 20. Шлюзовое загрузочное устройство с тремя роторами:
 1, 3, 5, 8, 11 и 15 — загрузочные полости, 2 и 10 — перегородки, 4 и 13 — отверстия, 6 — фланец, 7 — ввод вращения, 9, 12 и 14 — роторы, 16 — рабочая камера

зывает небольшое колебание давления в рабочей камере при вращении роторов.

Транспортирующим элементом устройства (см. рис. 21) является ротор 8 с полостью загрузки 5, в которую изделие подается через отверстие 6. Откачной патрубком 3 первой ступени откачки шлюзовой системы подсоединен к боковой крышке 4 корпуса 7. В противоположной крышке 9 размещен уплотнитель 10 вала 11 ротора. Полости 1 и 12 между торцами ротора и крышками корпуса соединены сквозными отверстиями 17, расположенными вдоль оси ротора, и продольными каналами 18 в корпусе 7. Замкнутый канал 15 соединен через патрубком 20 со второй ступенью откачки шлюзовой системы. Давление атмосферы на ротор компенсируется поджимами 13 опор качения 2 ротора в направлении входного отверстия загрузочного устройства. Длина ротора выбирается из условия равноудаленности боковых полостей 1 и 12 и продольных каналов 18, т. е. $l_1 = l_2 \approx 1/4\pi D$. Недостатком этого устройства является переворот изделия при вращении ротора.

В шлюзовом устройстве пенального типа (рис. 22) ориентация изделия сохраняется, хотя оно конструктивно сложнее описанных выше. Транспортирующим элементом изделий в таком устройстве являются закрепленные между собой верхний 4, средний 5 и нижний 6 ползуны. Между перегородками корпуса 2, содержащего шлюзовые камеры 1 и 7, перемещаются ползуны, в которых имеются три сквозные загрузочные полости 3, 8 и 9. За каждый ход ползуну изделия под собственной массой перегружаются в шлюзовые камеры из полости предыдущего ползуна в полость последующего. Из нижнего ползуна изделие поступает в рабочую камеру 10. В устройстве пенального типа, как и в роторном, применяют открытую шлюзовую систему.

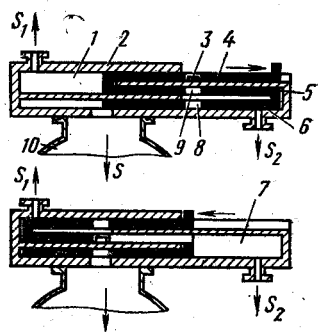


Рис. 22. Шлюзовое загрузочное устройство пенального типа:

- 1 и 7 — шлюзовые камеры, 2 — корпус, 3, 8 и 9 — загрузочные полости, 4, 5 и 6 — ползуны, 10 — рабочая камера

В шлюзовом устройстве пенального типа (рис. 22) ориентация изделия сохраняется, хотя оно конструктивно сложнее описанных выше. Транспортирующим элементом изделий в таком устройстве являются закрепленные между собой верхний 4, средний 5 и нижний 6 ползуны. Между перегородками корпуса 2, содержащего шлюзовые камеры 1 и 7, перемещаются ползуны, в которых имеются три сквозные загрузочные полости 3, 8 и 9. За каждый ход ползуну изделия под собственной массой перегружаются в шлюзовые камеры из полости предыдущего ползуна в полость последующего. Из нижнего ползуна изделие поступает в рабочую камеру 10. В устройстве пенального типа, как и в роторном, применяют открытую шлюзовую систему.

В шлюзовом устройстве пенального типа (рис. 22) ориентация изделия сохраняется, хотя оно конструктивно сложнее описанных выше. Транспортирующим элементом изделий в таком устройстве являются закрепленные между собой верхний 4, средний 5 и нижний 6 ползуны. Между перегородками корпуса 2, содержащего шлюзовые камеры 1 и 7, перемещаются ползуны, в которых имеются три сквозные загрузочные полости 3, 8 и 9. За каждый ход ползуну изделия под собственной массой перегружаются в шлюзовые камеры из полости предыдущего ползуна в полость последующего. Из нижнего ползуна изделие поступает в рабочую камеру 10. В устройстве пенального типа, как и в роторном, применяют открытую шлюзовую систему.

Для перемещения изделий в шлюзовых устройствах используют наклонные вакуумные камеры, установленные под углом $30-45^\circ$ относительно рабочей камеры. Изделие 1 (рис. 23, а) перемещается под действием силы тяжести в плоскую шлюзовую камеру 2. Затворы шлюзовой камеры выполнены в виде пустотелых трубок 3, внутренняя полость которых поочередно наполняется сжатым воздухом для герметизации канала 4 и откачивается вакуумным насосом для прохода изделий. Откачку шлюзовой камеры производят при закрытых затворах.

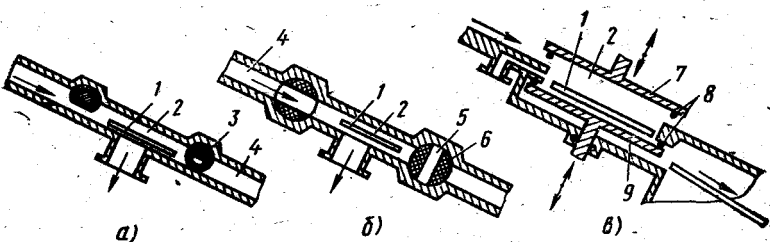


Рис. 23. Однокамерные шлюзовые загрузочные устройства:

а — с пневматическим затвором, б — клапанное, в — тарельчатое; 1 — изделие, 2 — шлюзовая камера, 3 — пустотелая трубка, 4 — канал, 5 — отверстие, 6 — затвор, 7 и 9 — верхняя и нижняя крышки, 8 — уплотнитель

Управление затворами в шлюзовом устройстве (рис. 23, б) значительно проще. Для герметизации шлюзовой камеры поворачивают цилиндрический затвор 6 со сквозным отверстием 5 перпендикулярно плоскому каналу 4. Для уплотнения шлюзовой камеры устройства, приведенного на рис. 23, в, используют уплотнители 8 круглой или трапециевидной формы. Перед загрузкой изделия 1 в шлюзовую камеру 2 напускается воздух и поднимается верхняя крышка 7. После откачки шлюзовой камеры опускается нижняя крышка 9 и изделие под действием силы тяжести соскальзывает в рабочую камеру.

Из рассмотренных выше вакуумных установок со шлюзовыми системами видно, как разнообразно их конструктивное решение. Надежность работы вакуумного оборудования в большой степени определяется надежностью работы шлюзовой системы. Поэтому в большинстве случаев используют закрытые шлюзовые системы.

Контрольные вопросы

1. По какому принципу классифицируют вакуумное оборудование для нанесения тонких пленок и чем оно характеризуется?
2. В чем заключается отличие установок периодического, полупрерывного и непрерывного действия?
3. С какой целью используют в вакуумном оборудовании шлюзовые системы?
4. Что способствует повышению производительности вакуумного оборудования со шлюзовыми системами?

ГЛАВА III

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ШЛЮЗОВЫХ СИСТЕМ

§ 9. Расчет стационарных шлюзовых систем

В расчет параметров шлюзовой системы входит определение ее геометрических размеров, числа шлюзовых камер, откачных средств, а также давлений в рабочей и шлюзовых камерах. В основе расчета лежит баланс газовых потоков.

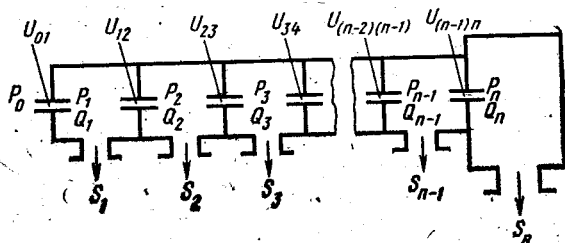


Рис. 24. Расчетная схема шлюзовой системы с n -ступенями откачки

При установившемся режиме откачки составляют уравнения газового баланса для стационарной шлюзовой системы (рис. 24).

$$P_1 \dot{S}_1 + U_{12}(P_1 - P_2) = Q_1 + U_{01}(P_0 - P_1), \quad (1)$$

$$P_2 \dot{S}_2 + U_{23}(P_2 - P_3) = Q_2 + U_{12}(P_1 - P_2), \quad (2)$$

$$P_3 \dot{S}_3 + U_{34}(P_3 - P_4) = Q_3 + U_{23}(P_2 - P_3), \quad (3)$$

$$P_n \dot{S}_n = Q_n + U_{(n-1)n}(P_{n-1} - P_n), \quad (4)$$

где P_0 — атмосферное давление, Па; P_1, \dots, P_n — давление в шлюзовых камерах, Па; S_1, \dots, S_n — эффективная скорость откачки шлюзовых камер, м³/с; $U_{12}, \dots, U_{(n-1)n}$ — проводимость каналов между камерами, м³/с; Q_1, \dots, Q_n — потоки газовыделений и натеканий в камерах, м³Па/с.

В общем виде решение системы уравнений (1) — (4) можно записать

$$P_n = \frac{Q_n + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{n-i} \prod_{j=0}^{i-1} k_{[n-(j+1)](n-j)} + U_{01} P_0 \prod_{j=0}^{n-2} k_{[n-(j+1)](n-j)}}{S_n + \sum_{i=1}^{n-1} S_{n-i} \prod_{j=0}^{i-1} k_{[n-(j+1)](n-j)} + U_{01} \prod_{j=0}^{n-2} k_{[n-(j+1)](n-j)}}$$

$n=2, 3, 4, \dots$ (5)

где

$$k_{12} = \frac{1}{1 + \frac{S_1 + U_{01}}{U_{12}}}; \quad k_{23} = \frac{1}{1 + \frac{S_2 + S_1 k_{12} + U_{01} k_{12}}{U_{23}}};$$

$$k_{34} = \frac{1}{1 + \frac{S_3 + S_2 k_{23} + S_1 k_{12} k_{23} + U_{01} k_{12} k_{23}}{U_{34}}};$$

$$k_{(n-1)n} = \frac{1}{1 + \frac{S_{n-1} + \sum_{i=2}^{n-1} S_{n-i} \prod_{j=1}^{i-1} k_{[n-(j+1)](n-j)} + U_{01} \prod_{j=1}^{n-2} k_{[n-(j+1)](n-j)}}{U_{(n-1)n}}}$$

$n=3, 4, 5, \dots$ (6)

Шлюзовую систему считают открытой или полуоткрытой, если $P_0 = 10^5$ Па (760 мм рт. ст.), $P_1, \dots, P_n < P_0$; $0 < U_{01}, \dots, U_{(n-1)n} < \infty$, комбинированной, если $P_1, \dots, P_n < P_0$, $U_{01} = 0$, $0 < U_{12}, \dots, U_{(n-1)n} < \infty$.

В этом случае формулы (5) и (6) можно упростить

$$P_n = \frac{Q_n + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{(n-i)} \prod_{j=0}^{i-1} k_{[n-(j+1)](n-j)}}{S_n + \sum_{i=1}^{n-1} S_{n-i} \prod_{j=0}^{i-1} k_{[n-(j+1)](n-j)}} \quad (7)$$

где

$$k_{(n-1)n} = \frac{1}{1 + \frac{S_{n-1} + \sum_{i=2}^{n-1} S_{(n-i)} \prod_{j=1}^{i-1} k_{[n-(j+1)](n-j)}}{U_{(n-1)n}}} \quad (8)$$

Пользуясь формулами (5) — (8), можно достаточно точно рассчитать давление P_n в установках с открытой, полуоткрытой и комбинированной шлюзовыми системами, подставив значения Q_1, \dots, Q_n ; S_1, \dots, S_n и $U_{12}, \dots, U_{(n-1)n}$.

Чтобы установка со шлюзовой системой была близка к оптимальной, выбирают оптимальные значения $U_{12}, \dots, U_{(n-1)n}$ и S_1, \dots, S_n .

Потоки Q_1, \dots, Q_n зависят от количества выделяющегося газа из внутренней поверхности рабочей и шлюзовых камер, уплотнителей, негерметичных соединений и др.

Значения $U_{01}, \dots, U_{(n-1)n}$ зависят от формы, геометрических размеров каналов между шлюзовыми камерами и состояния режима течения газа в них. Режимы течения газа подразделяют в основном на вязкостный, молекулярный и молекулярно-вязкостный.

Рассмотрим, в какой зависимости находятся величины P_1, \dots, P_n ; $U_{12}, \dots, U_{(n-1)n}$; S_1, \dots, S_n и определим их оптимальные значения.

Для этого составим уравнение газового баланса только для i -й шлюзовой камеры

$$P_i S_i + U_{i(i+1)} (P_i - P_{i+1}) = Q_i + U_{(i-1)i} (P_{i-1} - P_i). \quad (9)$$

Считают, что при вязкостном и молекулярно-вязкостном режимах течения газа газовый поток $Q_i \ll \ll U_{(i-1)i} (P_{i-1} - P_i)$ не оказывает существенного влияния на давление P_i , т. е. $Q_i \approx 0$.

В вязкостном режиме течения газа в канале проводимость $U_{(i-1)iB}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) зависит от давления. В этом случае величину $U_{(i-1)iB}$ можно выразить следующим образом:

$$U_{(i-1)iB} = \frac{A_B}{l} \cdot \frac{(P_{(i-1)} + P_i)}{2}, \quad (10)$$

где A_B — величина, характеризующая конструкцию канала и состояние газа в нем; l — длина канала, м; P_{i-1} и P_i — давления газа на концах канала, Па.

При температуре воздуха, равной 293 К (20° С) для канала круглого сечения $A_B = 1,36 \cdot 10^3 d^4$, прямоугольного сечения $A_B = 865 \gamma ab^3$, где d — диаметр канала, м; ($b < a$); γ — коэффициент, равный 2,25; 3,66; 4,2; 5,0; 5,3 при a/b — 1; 2; 3; 5; 10; 100 соответственно. При $b \ll a$ (щелевой канал) $A_B = 4,6 \cdot 10^3 ab^3$.

В молекулярном режиме течения газа в канале проводимость U_M не зависит от давления.

В этом случае величину U_M можно выразить следующим образом:

$$U_{(i-1)l_M} = \frac{A_M}{l}, \quad (11)$$

где A_M — величина, характеризующая конструкцию канала и состояние газа в нем.

При температуре воздуха, равной 293 К, для канала круглого сечения $A_M = 121 d^3$, если внутри канала круглого сечения диаметром d_1 коаксиально расположено транспортирующее устройство диаметром d_2 , $A_M = 121 (d_1 - d_2)^2 (d_1 + d_2)$. Для канала прямоугольного сечения $A_M = 308 k' \frac{a^2 b^2}{a + b}$, где $k' = 1,1; 1,15; 1,3; 1,45$ при $b/a = 1,0; 0,5; 0,2; 0,1$ соответственно, для узкого канала прямоугольного сечения (щелевого), когда $b \gg a$ $A_M = 116 \cdot ab^2$.

В молекулярно-вязкостном режиме течения газа в канале проводимость U_{MB} имеет следующую зависимость:

$$U_{MB} = U_B + Z U_M. \quad (12)$$

Коэффициент Z можно выразить следующим образом:

$$Z = \frac{1 + B_1 \frac{P_{l-1} + P_l}{2}}{1 + B_2 \frac{P_{l-1} + P_l}{2}}, \quad (13)$$

где B_1 и B_2 — величины, характеризующие конструкцию канала и состояние газа в нем.

При температуре воздуха, равной 293 К, для каналов круглого сечения $B_1 = 1,9 \cdot 10^4 d$; $B_2 = 2,35 \cdot 10^4 d$; прямоугольного сечения (в том числе и щелевого) $B_1 = 3,72 \times 10^4 a$, $B_2 = 4,62 \cdot 10^4 a$.

Если режим течения газа в канале по своему значению близок к вязкостному, Z можно считать постоянной величиной, равной 0,81, если к молекулярному — $Z=1,0$.

Подставляя значения U_{MB} из формул (10) и (11) в формулу (12), получим

$$U_{MB} = \frac{A_B}{l} \cdot \frac{P_{i-1} + P_i}{2} + Z \frac{A_M}{l} \quad (14)$$

Величины A_B , A_M , B_1 , B_2 являются постоянными. Для упрощения расчета шлюзовых систем считают, что поток газа, поступающий в шлюзовую камеру, удаляется откачным средством этой камеры, т. е. $U_{(i-1)}(P_i - P_{i-1}) \approx 0$, а $P_{i-1} \gg P_i$, тогда выражение (9) можно упростить:

$$P_i S_i = Q_i + U_{(i-1)l} P_{i-1} \quad (15)$$

В вязкостном режиме течения газа, преобразуя выражение (15), определяем оптимальные значения P_{iB} , l , S_i , $U_{(i-1)lB}$:

$$P_{iB} = \frac{A_B P_{i-1}^2}{2l S_i} \quad (16)$$

$$l = P_{i-1} \sqrt{\frac{A_B}{2S_i \varphi_B^l}} \quad (17)$$

$$S_i = P_{i-1} \sqrt{\frac{A_B}{2l \varphi_B^s}} \quad (18)$$

$$U_{(i-1)lB} = \sqrt{\frac{A_B S_i \varphi_B^l}{2}} \quad (19)$$

В молекулярном режиме течения газа

$$P_{iM} = \frac{A_M P_{i-1} + Q_i l}{S_i l} \quad (20)$$

$$l = \sqrt{\frac{A_M P_{i-1}}{S_i \varphi_M^l}} \quad (21)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\frac{A_M}{l} P_{i-1} + Q_i}{\varphi_M^s}} \quad (22)$$

$$U_{(i-1)lM} = \sqrt{\frac{A_M S_i \varphi_M^l}{P_{i-1}}} \quad (23)$$

Для узкого (щелевого) канала прямоугольного сечения $U_{(i-1)l_{\text{мщ}}}$ можно определить из следующего выражения:

$$U_{(i-1)l_{\text{мщ}}} = U_{(i-1)l_{\text{м}}} l_{\text{п}} \frac{l}{b}.$$

В молекулярно-вязкостном режиме течения газа при $Z = 0,81 \div 1,0$

$$P_{i_{\text{мв}}} = \frac{P_{i-1}}{S_i l} \left(\frac{1}{2} A_{\text{в}} P_{i-1} + Z A_{\text{м}} \right); \quad (24)$$

$$l = \sqrt{\frac{P_{i-1}}{S_i \varphi_{\text{мв}}^l} \left(\frac{1}{2} A_{\text{в}} P_{i-1} + Z A_{\text{м}} \right)}; \quad (25)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{P_{i-1}}{l \varphi_{\text{мв}}^s} \left(\frac{1}{2} A_{\text{в}} P_{i-1} + Z A_{\text{м}} \right)}; \quad (26)$$

$$U_{(i-1)l_{\text{мв}}} = \sqrt{\frac{S_i \varphi_{\text{мв}}^l}{P_{i-1}} \left(\frac{1}{2} A_{\text{в}} P_{(i-1)} + Z A_{\text{м}} \right)}. \quad (27)$$

Если $P_{i1} \gg P_i$, формулу (13) можно упростить

$$Z = \frac{1 + B_1 \frac{P_{i-1}}{2}}{1 + B_2 \frac{P_{i-1}}{2}}. \quad (28)$$

Следовательно, Z не зависит от P_i и для определения $P_{i_{\text{мв}}}$, l , S_i , $U_{(i-1)l_{\text{мв}}}$ в формулы (24) — (27) подставляют значения Z из формулы (28).

В формулах (10) — (28) $\varphi_{\text{в}}^l = 5 \cdot 10^3 - 10^4$; $\varphi_{\text{мв}}^l = 10 - 10^2$; $\varphi_{\text{м}}^l = 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-3}$; $\varphi_{\text{в}}^s = 5 \cdot 10^4 - 10^5$; $\varphi_{\text{мв}}^s = 10^2 - 10^3$; $\varphi_{\text{м}}^s = 10^{-1} - 5 \cdot 10^{-2}$. После подстановки этих значений в формулы (5) — (8) производим окончательный расчет всей шлюзовой системы. При этом учитываются все газовые потоки между шлюзовыми камерами, которыми в уравнении (15) пренебрегали.

В открытой шлюзовой системе с оптимальными параметрами в первом канале режим течения газа — вязкостный, во втором — молекулярно-вязкостный, в третьем и далее — молекулярный.

Если при расчете стационарной шлюзовой системы задаются суммарной длиной межкамерных каналов $L = \sum_{i=1}^n l_i$ и давлением в рабочей камере P_n , можно найти оптимальные давления в шлюзовых камерах и длины каналов.

Для шлюзовых систем с двумя шлюзовыми камерами

$$P_1 = 0,6 \sqrt[3]{P_{\text{атм}}^2 P_2}; \quad l_1 = \frac{2}{3} L \quad \text{и} \quad l_2 = \frac{1}{3} L.$$

Для шлюзовых систем с тремя шлюзовыми камерами

$$P_1 = 0,5 \sqrt[7]{P_{\text{атм}}^6 P_3}; \quad l_1 = \frac{4}{7} L; \quad P_2 = 0,4 \sqrt[7]{P_{\text{атм}}^4 P_3}; \quad l_2 = \frac{2}{7} L$$

$$\text{и} \quad l_3 = \frac{1}{7} L.$$

Количество шлюзовых камер выбирают в зависимости от давления в рабочей камере. Так, при

$$P_n > 10^{-2} \text{ Па} \quad n=2;$$

$$10^{-5} < P_n \leq 10^{-2} \text{ Па} \quad n=3;$$

$$10^{-7} < P_n \leq 10^{-5} \text{ Па} \quad n=4.$$

§ 10. Примеры расчета стационарных шлюзовых систем

Закрытые и комбинированные шлюзовые системы нашли наибольшее распространение в установках с одной и двумя шлюзовыми камерами, открытые — в установках с неразрывным транспортным каналом.

Для расчета стационарных шлюзовых систем используем уравнения (6) — (8).

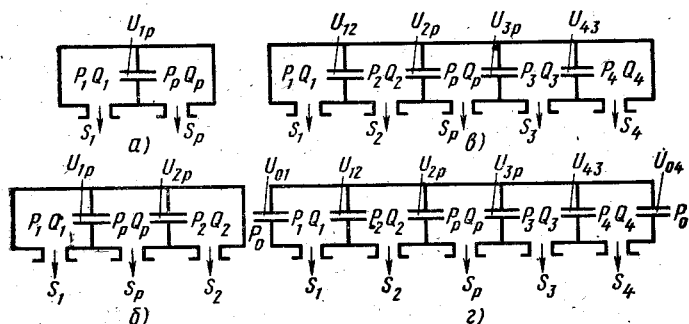


Рис. 25. Расчетные схемы характерных стационарных шлюзовых систем:

а — закрытой, б — комбинированной, в — многоступенчатой комбинированной, г — открытой

1: В закрытой шлюзовой системе со шлюзовой и рабочей камерами (рис. 25, а) давление в любой из камер определяется собственными газовым потоком Q и скоростью откачки S , а также частично газовым потоком соседней камеры и ее скоростью откачки. Эта система характерна для установок с магазином изделий, расположенным в шлюзовой камере. Изделия периодически загружают в рабочую камеру и после обработки выгружают их обратно в магазин. Затвор между двумя камерами постоянно открыт.

Оптимальную величину U_{1p} , обеспечивающую наименьшее влияние камер, определяют по формуле (23), так как в этом случае режим течения газа между объемами молекулярный.

Для определения давлений в вакуумных камерах пользуются следующими формулами:

$$P_p = \frac{Q_p + Q_1 k_{1p}}{S_p + S_1 k_{1p}}; \quad P_1 = \frac{Q_1 + Q_p k_{p1}}{S_1 + S_p k_{p1}},$$

где

$$k_{1p} = \frac{1}{1 + \frac{S_1}{U_{1p}}}; \quad k_{p1} = \frac{1}{1 + \frac{S_p}{U_{1p}}}.$$

2. Комбинированную шлюзовую систему с одной рабочей и двумя шлюзовыми камерами рассчитывают с учетом того, что давление в каждой из камер определяется собственными газовым потоком и скоростью откачки, а также частично газовым потоком и скоростями откачки других камер (рис. 25, б). Для определения давлений в этом случае пользуются следующими формулами:

$$P_p = \frac{Q_p + Q_1 k_{1p} + Q_2 k_{2p}}{S_p + S_1 k_{1p} + S_2 k_{2p}}; \quad P_1 = \frac{Q_1 + (Q_p + Q_2 k_{2p}) k_{p1}}{S_1 + (S_p + S_2 k_{2p}) k_{p1}};$$

$$P_2 = \frac{Q_2 + (Q_p + Q_1 k_{1p}) k_{p2}}{S_2 + (S_p + S_1 k_{1p}) k_{p2}};$$

где

$$k_{1p} = \frac{1}{1 + \frac{S_1}{U_{1p}}}; \quad k_{2p} = \frac{1}{1 + \frac{S_2}{U_{2p}}}; \quad k_{p1} = \frac{1}{1 + \frac{S_p + S_2 k_{2p}}{U_{1p}}};$$

$$k_{p2} = \frac{1}{1 + \frac{S_p + S_1 k_{1p}}{U_{p2}}}.$$

Коэффициенты k_{1p} , k_{2p} , k_{p1} , k_{p2} определяют, насколько уменьшается взаимное влияние сообщающихся камер. Две шлюзовые камеры будут полностью сообщаться с рабочей в том случае, если в них разместить магазины загрузки и выгрузки изделий. Если шлюзовые камеры по очереди сообщаются с рабочей, расчет шлюзовой системы будет соответствовать рассмотренному ранее.

3. В шлюзовой системе с несколькими шлюзовыми камерами, расположенными симметрично относительно рабочей, соседние с рабочей шлюзовые камеры используют для ее вакуумной блокировки и вспомогательных рабочих операций (рис. 25, в). Давление P_p в этом случае рассчитывают, пользуясь следующей формулой:

$$P_p = \frac{Q_p + (Q_2 + Q_1 k_{12}) k_{2p} + (Q_3 + Q_4 k_{43}) k_{3p}}{S_p + (S_2 + S_1 k_{12}) k_{2p} + (S_3 + S_4 k_{43}) k_{3p}}$$

где

$$k_{12} = \frac{1}{1 + \frac{S_1}{U_{12}}}; \quad k_{2p} = \frac{1}{1 + \frac{S_2 + S_1 k_{12}}{U_{2p}}}$$

4. Открытую шлюзовую систему (рис. 25, г) обычно рассматривают как симметричную. Проводимость U_{01} в этом случае рассчитывают по формуле (19), так как режим течения газа между атмосферой и первой шлюзовой камерой всегда вязкостный, U_{12} по формуле (27), а U_{2p} по формуле (23). При этом значениями Q_1 и Q_2 можно пренебречь из-за их малой величины по сравнению с произведением $P_{атм} U_{01}$.

Тогда

$$P_p = \frac{Q_p + 2P_{атм} U_{01} k_{12} k_{2p}}{S_p + 2S_2 k_{2p} + 2(S_1 + U_{01}) k_{12} k_{2p}}$$

§ 11. Расчет нестационарных закрытых шлюзовых систем

Нестационарное состояние шлюзовой системы наблюдается при перемещении через нее изделий, в результате чего изменяется давление в шлюзовых и рабочей камерах.

Вакуумные характеристики нестационарных закрытых шлюзовых систем зависят от соотношения сообщающихся

ся между собой вакуумных объемов шлюзовых и рабочих камер, а также и давлений в них в стационарном состоянии. Кроме того, на них влияют изменения проводимости каналов между вакуумными камерами в процессе взаимной разгерметизации и перемещения держателей изделий.

В задачу расчета параметров закрытой нестационарной шлюзовой системы входит: определение уровня

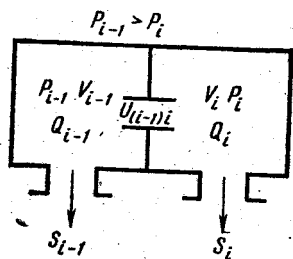


Рис. 26. Расчетная схема нестационарной закрытой шлюзовой системы

изменения давления в шлюзовой системе и объеме рабочей камеры; оптимального соотношения сообщающихся между собой объемов шлюзовых камер и загрузочных полостей; допустимой скорости перемещения изделий и характера изменения проводимостей каналов между сообщающимися камерами, а также (в некоторых случаях) продолжительности цикла нестационарного состояния шлюзовой системы.

При расчете нестационарной шлюзовой системы величины объемов рабочих и шлюзовых камер, а также загрузочных устройств транспортирования, скорости откачки и перемещения изделий считают постоянными.

Нестационарный процесс взаимной разгерметизации двух шлюзовых камер до перемещения держателей изделий между ними (рис. 26) происходит по-разному.

В одном случае проводимость $U_{(i-1)i}$ разгерметизированного отверстия (или трубопровода) устанавливается постоянной мгновенно, т. е. $U_{(i-1)i} = \text{const}$, в другом — проводимость $U_{(i-1)i}$ является переменной и устанавливается постоянной через некоторое время.

За определенный промежуток времени нестационарный процесс течения газов между двумя камерами в обоих случаях переходит постепенно в стационарный.

При $U_{(i-1)i} = \text{const}$ и начальных давлениях $P_{i-1}^n > P_i^n$ нестационарный процесс перетекания газов между вакуумными камерами после их взаимной разгерметизации рассчитывают в два этапа. На первом этапе за время t_1 в камере с объемом V_i происходит увеличение давления P_i от P_i^n до $P_{i,\text{max}}$.

Газовый баланс между V_i и V_{i-1} можно охарактеризовать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$V_i \frac{dP_i}{dt} = P_i S_i - U_{(i-1)i} (P_{i-1} - P_i) - Q_i, \quad (29)$$

$$-V_{i-1} \frac{dP_{i-1}}{dt} = P_{i-1} S_{i-1} + U_{(i-1)i} (P_{i-1} - P_i) - Q_{i-1}. \quad (30)$$

Каждое из уравнений (29) и (30) показывает, что количество газа, удаленное из одной камеры в другую в течение времени dt , равно откачиваемому насосом минус поступившее из других источников.

Решая систему уравнений (29) и (30), можно получить выражения для определения P_i , P_{i-1} , t_1 .

На втором этапе за время t_2 в камере с объемом V_i происходит понижение давления P_i от $P_i^{\max t_1}$ до $P_i^{\min t_2}$.

За время $(t_1 + t_2)$ в камере с объемом V_{i-1} также происходит понижение давления P_{i-1} от $P_{i-1}^{\max t_1}$ до $P_{i-1}^{\min(t_1+t_2)}$.

При понижении давления P_i от $P_i^{\max t_1}$ до $P_i^{\min t_2}$ и P_{i-1} от $P_{i-1}^{\max t_1}$ до $P_{i-1}^{\min t_2}$ газовый баланс выражается аналогичной системой дифференциальных уравнений (29) и (30), решая которые можно определить конечные значения P_i , P_{i-1} и t_2 .

Следовательно, нестационарный процесс взаимодействия газов между камерами с объемами V_i и V_{i-1} переходит в стационарный за время $t = t_1 + t_2$. При этом в камерах устанавливаются давления $P_{i-1}^{\min(t_1+t_2)}$ и $P_i^{\min t_2}$.

При переменной проводимости $U_{(i-1)i}$, что соответствует условиям постепенной взаимной разгерметизации двух камер с объемами V_i и V_{i-1} , расчет нестационарного процесса аналогичен рассмотренному выше.

Газовый баланс между объемами V_i и V_{i-1} в процессе их постепенной взаимной разгерметизации характеризуется системами дифференциальных уравнений (29) и (30).

Решение этих систем уравнений усложняется, так как проводимость $U_{(i-1)i}$ так же, как P_i и P_{i-1} , является функцией времени.

Нестационарный процесс течения газа между камерами с объемами V_{i-1} и V_i и давлениями $P_{i-1}^{\max} > P_i^{\max}$ проис-

ходит и при перемещении держателя изделий через разгерметизированное межкамерное отверстие.

При входе держателя в межкамерное отверстие проводимость $U_{(i-1)i}$ уменьшается, а при выходе — увеличивается до первоначального значения. Если $U_{(i-1)i}$ уменьшается, ограничивается поток газа из объема V_{i-1} , что ведет к уменьшению давления P_i . Изменение проводимости $U_{(i-1)i}$ зависит от конструкции держателя изделий и скорости его перемещения. Зная, как меняется проводимость $U_{(i-1)i}$ во времени, используя системы уравнений (29) и (30), рассчитывают изменения давлений P_{i-1} и P_i . Расчеты эти обычно проводят при большой разнице давлений P_i и P_{i-1} .

После взаимной разгерметизации камер в закрытых шлюзовых системах проводимость $U_{(i-1)i}$ обычно большая, разница давлений P_i и P_{i-1} невелика и перемещение держателя изделий почти не влияет на изменение давлений.

§ 12. Расчет нестационарных открытых и полуоткрытых шлюзовых систем

В открытых и полуоткрытых шлюзовых системах транспортирующие устройства имеют загрузочные полости для размещения изделий. В этом случае при нестационарном состоянии шлюзовой системы будет наблюдаться не только взаимодействие объемов шлюзовых и рабочих камер между собой, но и с загрузочными полостями, перемещение которых вызывает колебание давлений во всей системе и рабочей камере.

Вакуумные характеристики нестационарных открытых и полуоткрытых шлюзовых систем зависят от соотношения объемов сообщающихся между собой шлюзовых камер и загрузочных полостей транспортирующих устройств, изменения проводимости каналов при перемещении этих устройств, давления газа в их загрузочной полости и скорости перемещения устройств.

Загрузочная полость при перемещении транспортирующего устройства от одной шлюзовой камеры к другой не только изменяет проводимость канала, но и переносит определенное количество газа pV из объема V_{i-1} в V_i (рис. 27). Давление газа p в загрузочной полости при ее перемещении между объемами V_{i-1} и V_i изменяется,

Чем меньше скорость перемещения s , тем больше изменяется давление p и тем меньше колебание давления P_i .

При больших скоростях перемещения изделий в загрузочной полости давление p почти не изменяется, оставаясь приблизительно равным давлению P_{i-1} . В этом случае при совмещении объемов v и V_i максимально из-

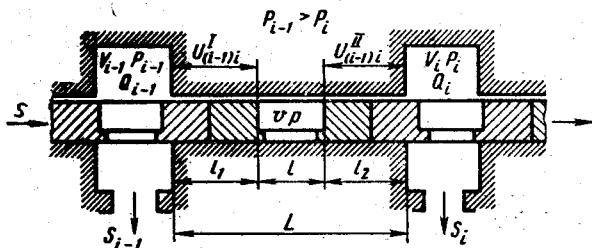


Рис. 27. Расчетная схема нестационарной открытой шлюзовой системы

меняется давление P_i , что можно выразить следующим уравнением:

$$pv + P_i V_i = P_i^{\max} (v + V_i),$$

откуда

$$P_i^{\max} = \frac{p + P_i \frac{V_i}{v}}{1 + \frac{V_i}{v}}. \quad (31)$$

При

$$p \approx P_{i-1} \quad P_i^{\max} = \frac{P_{i-1} + P_i \frac{V_i}{v}}{1 + \frac{V_i}{v}}. \quad (32)$$

При большой разнице в давлениях ($P_{i-1} \gg P_i$) и величинах сообщающихся объемов ($V_i \gg v$) выражение (32) можно упростить:

$$P_i^{\max} = P_{i-1} \frac{v}{V_i}. \quad (33)$$

В этом случае «всплеск» давления в объеме V_i будет определяться давлением P_{i-1} и отношением v/V_i .

При небольшой скорости перемещения s загрузочная полость, приближаясь к объему V_i , будет откачиваться, так как проводимость $U_{(i-1)i}^I$ уменьшается, а $U_{(i-1)i}^{II}$ увеличивается. Давление P_i при этом будет возрастать.

Газовый баланс между объемами V_{i-1} , v и V_i в этом случае можно охарактеризовать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -V_{i-1} \frac{dP_{i-1}}{dt} &= S_{i-1} P_{i-1} + U_{(i-1)i}^I (P_{i-1} - p) - Q_{i-1}; \\ -v \frac{dP}{dt} &= U_{(i-1)i}^{II} (p - P_i) - U_{(i-1)i}^I (P_{i-1} - p); \\ V_i \frac{dP_i}{dt} &= S_i P_i - U_{(i-1)i}^{II} (p - P_i) - Q_i, \end{aligned} \right\} (34)$$

Если при перемещении транспортирующего устройства зазоры в межкамерном канале не изменяются, то $U_{(i-1)i}^I$ является только функцией $l_1 = st$, а $U_{(i-1)i}^{II}$ — функцией $l_2 = L - l - st$.

Определив режим течения газа в межкамерном канале стационарной шлюзовой системы, значения P_{i-1}^n и P_i^n ; v , V_i , V_{i-1} ; Q_i , Q_{i-1} ; S_i , S_{i-1} рассчитывают оптимальную величину s , которая обеспечивает допустимый уровень изменения давлений P_i и P_{i-1} .

При расчете многоступенчатой нестационарной шлюзовой системы (см. рис. 24) пользуются для каждой шлюзовой камеры системой уравнений (34).

При этом исходное давление P_{i-1}^n выбирают отличным от номинального P_{i-1}^n , определяемого в стационарной шлюзовой системе. P_{i-1}^n должно быть равно

$\frac{P_{i-1}^{\max} + P_{i-1}^n}{2}$ или P_{i-1}^{\max} , так как оно зависит от частоты, продолжительности и величины «всплесков» давления P_i .

✓ Контрольные вопросы

1. Что входит в задачу расчета параметров шлюзовых систем?
2. При каком режиме течения газа проводимость шлюзовых систем зависит от давления?
3. В чем отличие стационарной шлюзовой системы от нестационарной?

ГЛАВА IV

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ПРОЦЕССОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ В ВАКУУМНОМ ОБОРУДОВАНИИ СО ШЛЮЗОВЫМИ СИСТЕМАМИ

Качество изделий в процессе их изготовления является одним из основных критериев, характеризующих пригодность оборудования для крупносерийного и массового производства изделий.

Так как технологический процесс нанесения покрытия является одним из основных при изготовлении изделий, воспроизводимость их параметров в значительной степени будет зависеть от постоянства уровня рабочего давления, состава газовой среды, определяющей этот уровень, эмиссионных характеристик источников нанесения покрытий и вспомогательных рабочих операций до и после процесса нанесения покрытий.

В оборудовании со шлюзовыми системами нестабильность давления, изменение состава газовой среды в рабочей камере и эмиссионных характеристик источников нанесения покрытий в основном вызваны следующими факторами:

взаимодействием (особенно пульсацией) потоков газов, возникающих между рабочей и шлюзовыми камерами в стационарном и нестационарном состоянии;

«всплесками» потоков газов, десорбирующихся с поверхности их держателей и транспортирующих устройств;

колебаниями скоростей откачки вакуумных систем при длительной и непрерывной эксплуатации, особенно в установках полунепрерывного и непрерывного действия;

изменением газового состава при непрерывной работе источника нанесения покрытия и длительном осаждении материала на поверхности рабочей камеры;

колебаниями тока и напряжения в системе питания источника нанесения покрытия.

Для уменьшения влияния стационарных и нестационарных шлюзовых систем на уровень давления и состав газовой среды в рабочей камере уменьшают: объемы загрузочных шлюзовых камер и полостей транспортирующих устройств; снижают скорость транспортирования изделий между шлюзовыми камерами; увеличивают объемы промежуточных шлюзовых камер; плавно раз-

герметизируют затворы в закрытых шлюзовых системах; откачивают шлюзовые камеры до давления рабочей камеры и ниже; очищают газовую среду загрузочных шлюзовых камер потоком инертного газа.

«Всплески» потоков газов уменьшают следующими способами:

прогревают и очищают поверхности изделий, их держатели и транспортирующие устройства в шлюзовых камерах при более низком давлении и более высокой температуре, чем в рабочей камере, транспортируют изделия в рабочую камеру без держателей;

исключают сообщение внутрикамерных транспортирующих устройств с атмосферой;

наносят покрытия с большой скоростью откачки.

Влияние колебания скорости откачки на давление в рабочей камере уменьшают автоматическим регулированием потока рабочего газа, либо изменением скорости откачки вакуумной системы. В одном случае регулятором потока рабочего газа является натекатель, установленный на рабочей камере, в другом — подвижная заслонка вакуумной системы.

На изменение газового состава рабочей камеры при длительном нанесении покрытия оказывают влияние потоки газов между рабочей и шлюзовыми камерами.

Для уменьшения влияния шлюзовой системы на газовый состав рабочей камеры в сообщающихся с ней шлюзовых камерах поддерживают более низкое давление.

Для определения взаимодействия газовых потоков в рабочей камере преобразуют уравнение (9):

$$P_i S_i + P_i U_{(i-1)i} = Q_i + P_{i-1} U_{(i-1)i}.$$

Поток газа, определяемый произведением $P_i U_{(i-1)i}$, является дополнительным потоком откачки рабочей камеры, а поток газа $P_{i-1} U_{(i-1)i}$ — встречным, вносящим загрязнения в ее объем, что не зависит от направления суммарного потока, так как $U_{(i-1)i} (P_i - P_{i-1}) = -U_{(i-1)i} (P_{i-1} - P_i)$.

Уменьшая давление P_{i-1} по сравнению с P_i , значительно уменьшают встречный поток загрязнений, вносимых в объем рабочей камеры. Так как значительное уменьшение давления P_{i-1} является сложной технической задачей, снижают это давление до оптимальной величины.

В результате осаждения материала на стенки рабочей камеры и его сорбирующего действия происходит значительное снижение парциального давления остаточных газов, которое в рабочей камере может быть ниже, чем в высоковакуумных шлюзовых. При этом создается неравновесное содержание газов в рабочей и шлюзовых камерах и наблюдается взаимная диффузия газов при $P_i = P_{i-1}$; $P_i > P_{i-1}$ и $P_i < P_{i-1}$. Кроме того, взаимному перемещению газов между этими камерами способствует термодиффузия. В рабочей камере обычно газ имеет повышенную температуру. Даже при однородной концентрации более тяжелые и крупные молекулы имеют тенденцию двигаться в направлении понижения температуры (в данном случае в шлюзовую камеру), а более легкие и мелкие — в направлении повышения, т. е. в рабочую камеру.

Оптимальное уменьшение общего уровня давления в сообщающихся с рабочей шлюзовых камерах контролируют сравнительным масс-спектрометрическим анализом газов в этих камерах.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит воспроизводимость процесса нанесения пленок в вакуумном оборудовании?
2. Что вызывает нестабильность давления и изменение состава газовой среды в вакуумном оборудовании со шлюзовой системой?
3. С помощью каких средств можно уменьшить влияние колебания скорости откачки вакуумной системы на давление в рабочей камере?

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Г. А., Несвижский М. Б., Шелюбский М. Л. Расчет элементов вакуумных технологических установок для нанесения тонких пленок. Открытые шлюзовые системы.— М.: Электроника, 1970.

Блинов И. Г., Пупко В. А., Чёрепашук В. С. Вакуумные загрузочные шлюзы в оборудовании электронной промышленности.— М.: Электроника, 1973.

Данилин Б. С. Вакуумная техника в производстве интегральных схем.— М.: Энергия, 1972.

Данилин Б. С., Одинокоев В. В. Оборудование полупрерывного и непрерывного действия для вакуумного нанесения тонкопленочных элементов интегральных схем.— М.: Электроника, 1975.

Дэшман С. Научные основы вакуумной техники.— М.: Мир, 1964.

Пипко А. И., Плисковский В. Я., Пенчко Е. А. Конструирование и расчет вакуумных систем.— М.: Энергия, 1979.

Розанов Л. Н. Вакуумные машины и установки.— Л.: Машиностроение, 1975.

Рот А. Вакуумные уплотнения.— М.: Энергия, 1971.

Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов.— М.: Машиностроение, 1973.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
<i>Глава I.</i> Виды шлюзовых систем и основы их построения . .	4
§ 1. Закрытые шлюзовые системы	4
§ 2. Открытые шлюзовые системы	8
§ 3. Полуоткрытые шлюзовые системы	11
§ 4. Комбинированные шлюзовые системы	14
<i>Глава II.</i> Использование шлюзовых систем в вакуумном обо- рудовании	15
§ 5. Классификация вакуумного оборудования	15
§ 6. Шлюзовые системы в установках периодического действия	16
§ 7. Шлюзовые системы в установках полунепрерывного действия	21
§ 8. Шлюзовые системы в установках непрерывного дей- ствия	27
<i>Глава III.</i> Основы расчета шлюзовых систем	37
§ 9. Расчет стационарных шлюзовых систем	37
§ 10. Примеры расчета стационарных шлюзовых систем	43
§ 11. Расчет нестационарных закрытых шлюзовых систем	45
§ 12. Расчет нестационарных открытых и полуоткрытых шлюзовых систем	48
<i>Глава IV.</i> Воспроизводимость процессов нанесения покрытия в вакуумном оборудовании со шлюзовыми систе- мами	51
Литература	54