

1.5. НИЗКОВАКУУМНЫЕ СРЕДСТВА ОТКАЧКИ

Цель лекции: классификация низковакуумных средств откачки, изучение принципа их действия и современных параметров, а также получение знаний и умений по их выбору для конкретного технологического процесса.

К низковакуумным средствам откачки относят следующие типы насосов, работающих в диапазоне давлений от атмосферного до примерно 10^{-1} Па:

- диафрагменные;
- водокольцевые;
- пластинчато-роторные;
- золотниковые
- спиральные;
- кулачково-зубчатые
- винтовые;
- двухроторные типа Рутса.

Наиболее часто используемыми в технологических вакуумных установках являются пластинчато-роторные, спиральные, винтовые и двухроторные насосы типа Рутса, а также их комбинации.

1.5.1. ПЛАСТИНЧАТО-РОТОРНЫЕ НАСОСЫ

Принцип работы насоса заключается в том, что вращающийся ротор и неподвижный статор образуют замкнутый объем, увеличивающийся в размере и всасывающий газ. Для уплотнения движущихся частей насоса используют жидкости (вакуумные масла) с низким давлением насыщенных паров.

Схема вращательного пластинчато-роторного насоса показана на рис. 1.8.

Насос состоит из стального ротора, закрепленного эксцентрично внутри стального корпуса. Две пластины скользят внутри ротора и плотно прижимаются к внутренним стенкам корпуса с помощью пружины или центробежной силой. При вращении ротора с пластинами откачиваемый газ по впускному патрубку входит в область всасывания, которая расширяется. Затем газ захватывается следующей пластиной, образуя область переноса, переносится к впускному патрубку, образуя область сжатия, где сжимается до атмосферного давления и выбрасывается из насоса через выпускной клапан.

Данный тип насосов находит наибольшее применение в промышленности за счет хорошего сочетания скорости откачки, простоты конструкции и надежности. Основным недостатком является наличие масла, присутствие которого в ряде технологических процессов недопустимо. Для уменьшения

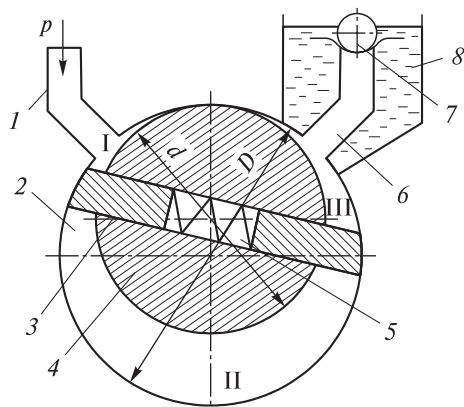


Рис. 1.8. Схема пластинчато-роторного насоса:

1 — впускной патрубок; 2 — корпус; 3 — пластины; 4 — ротор; 5 — пружина между пластинами (не обязательно); 6 — выпускной патрубок; 7 — выпускной (шариковый) клапан; 8 — масло; рабочие зоны насоса: I — область всасывания; II — область перекачки; III — область сжатия

миграции паров масла из насоса в трубопровод и камеру на выходе насоса устанавливают различного рода ловушки.

Пластинчато-роторные насосы могут иметь одну или две ступени сжатия, вследствие чего их предельное давление различается на порядок и составляет примерно 1 Па и 0,1 Па соответственно.

Конструкция пластинчато-роторных насосов содержит газобалластное устройство, предназначенное для дополнительного сообщения внутренней полости насоса с атмосферой для периодического удаления паров воды. Кроме того, насосы снабжены обратным клапаном, который механически запирает выхлопной патрубок насоса при окончании процесса откачки и таким образом предотвращает выброс масла в вакуумную магистраль.

1.5.2. СПИРАЛЬНЫЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ

Спиральный вакуумный насос — это механический объемный вращательный насос, в котором перемещение газа осуществляется за счет периодического изменения объема двух или более серповидных полостей, образованных между двумя спиралями, одной — неподвижной, второй — совершающей орбитальное движение, повернутыми относительно друг друга на 180° .

Спиральный вакуумный насос (рис. 1.9) с однозаходными спиралями состоит из следующих основных частей. Две спирали, чаще всего эвольвентные, выполнены заодно с торцевыми дисками. Одна, подвижная спираль, совершает орбитальное движение относительно оси вращения привода

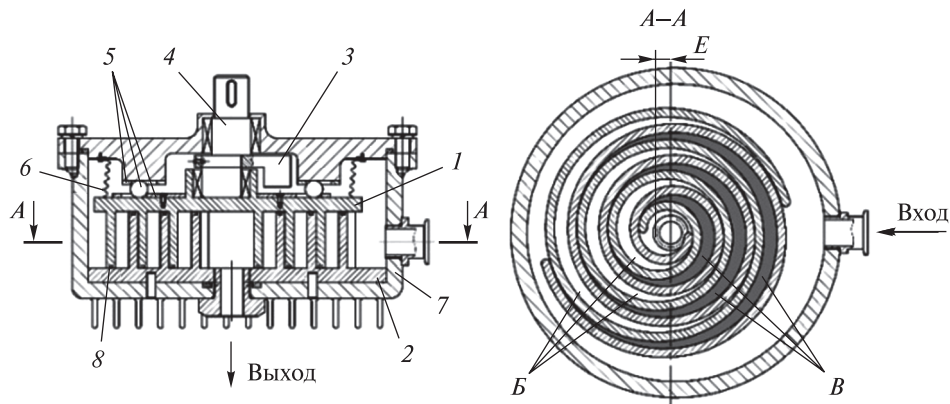


Рис. 1.9. Спиральный вакуумный насос:

1 — подвижная спираль; 2 — неподвижная спираль; 3 — корпус насоса; 4 — сильфон; 5 — противоположное устройство; 6 — эксцентриковый вал; 7 — противовес; E — эксцентриситет входного вала 4; B, B' — серповидные объемы между подвижной и неподвижной спиралями

насоса с некоторым небольшим эксцентриситетом (как правило, до 5 мм). Вторая спираль неподвижно соединена с корпусом насоса. Подвижная спираль уравнивается противовесом. При движении спирали не касаются друг друга, поскольку между ними имеется небольшой зазор $\sim 50 \dots 100$ мкм.

Эксцентриковый вал 4 передает движение от привода к подвижной спирали. В конструкции насоса также предусмотрено устройство, предотвращающее поворот подвижной спирали относительно оси вращения, поскольку даже ее незначительное угловое перемещение приведет к заклиниванию. Это противоположное устройство выполнено в виде нескольких кулачковых механизмов, смещение осей которых равно эксцентриситету E . Эксцентриковый вал совместно с противоположным устройством обеспечивают орбитальное движение подвижной спирали. Сильфон большого диаметра герметично соединяет подвижную спираль с корпусом насоса. Благодаря такой конструкции спиральный насос становится абсолютно безмасляным, полностью предотвращая возможность проникновения паров масла в откачиваемый объем.

Спирали в насосе расположены таким образом, что могут практически соприкасаться в нескольких точках, образуя при этом в случае однозаходных спиралей две серии серповидных объемов B и B' , которые при орбитальном движении подвижной спирали уменьшают свой объем от периферии спиралей к их центру. Всасывание газа происходит с внешней стороны спиралей, а выброс — из отверстия в центре неподвижной спирали. Для работы спирального механизма не требуется использование клапанов ни на входе в насос, ни на его выходе. Однако для предотвращения прорыва атмосферы в насос при аварийном отключении электричества можно использовать отсечной клапан на входе. Все элементы насоса, требующие смазки, вынесены за пределы рабочей камеры насоса. Наряду с клапаном на входе необходимо использование также и клапаны на выходе из насоса. Герметичные спиральные

насосы используются для откачки сильно агрессивных и особо дорогих газов, а также в технологических процессах с применением вакуума, не допускающих присутствия углеводородов.

1.5.3. ВИНТОВЫЕ НАСОСЫ

В конструкции винтового насоса (рис. 1.10) входят два параллельных ротора в форме винтов с переменным шагом, установленные относительно друг друга с микронными зазорами и вращающиеся навстречу друг другу. Винты расположены в корпусе с минимальными зазорами, которые изменяются

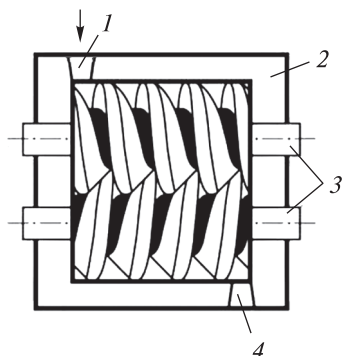


Рис. 1.10. Схема винтового насоса:

1 — впускной патрубок (фланец);
2 — корпус; 3 — роторы, выполненные в форме винтов; 4 — выпускной патрубок (фланец)

вследствие изменяющегося шага винтов. В результате попадающий в полость насоса через входной патрубок воздух постепенно сжимается и перемещается к выхлопному патрубку. Чем меньше зазоры в конце винтов, тем ниже предельное давление насоса. Однако при сжатии воздуха происходит разогрев и тепловое расширение корпуса и винтов, что ограничивает минимальные зазоры и требует постоянного охлаждения насоса.

К достоинствам такой конструкции можно отнести отсутствие смазок в полости сжатия и, соответственно, обеспечение безмасляного вакуума; отсутствие затрат на рабочую жидкость (масло), высокий КПД, высокую стойкость к влажным и пыльным откачиваемым средам, широкий диапазон скорости действия до 5000 м³/ч.

Недостатками являются высокая стоимость как самого насоса, так и его ремонта из-за требования выдерживать малые зазоры с высокой точностью; необходимость использования дополнительного управления для контроля скоростей вращения роторов.

1.5.4. ДВУХРОТОРНЫЕ НАСОСЫ (НАСОСЫ РУТСА)

Принцип работы насосов Рутса, предложенный в 1857 г., впервые был успешно применен в доменных воздуходувках. В последнее время такие насосы успешно используются в вакуумной технике в качестве механических бустерных насосов (т. е. вспомогательных насосов, улучшающих работу последовательно соединенных с ними высоковакуумных диффузионных насосов).

В насосе используются два встречно-вращающихся ротора, выполненных в форме восьмерок. Принцип работы насоса (рис. 1.11) основан на том, что роторы при вращении захватывают карманом, образованным боковой поверхностью ротора и статора, порцию откачиваемого газа из области, находящейся у впускного патрубка, и переносят его в область выхлопного патрубка.

Обязательным требованием к конструкции роторов является чрезвычайно высокая точность их изготовления. При их встречном вращении значение зазора δ между поверхностями роторов не должна превышать 0,05 мм, при этом касание роторов недопустимо, так как приводит к их разогреву и заклиниванию. Увеличение зазора δ обуславливает увеличение обратного потока газа и снижение эффективности работы.

Обычно двухроторный насос устанавливают между механическим и диффузионным насосами. Двухроторный насос может работать с выхлопом в атмосферу, но это не рекомендуется из-за большого обратного потока газов через зазоры, а также вследствие нагрева насоса, приводящего к его заклиниванию.

Разновидностью двухроторных насосов Руста являются многоступенчатые насосы (рис. 1.12).

Каждая пара роторов 1 повернута относительно друг друга на 90° и отделена диском-статором с отверстием для перетекания газа. Откачиваемый газ от впускного патрубка 3 последовательно сжимается каждой парой роторов по направлению к выхлопу. При этом пространство между парами

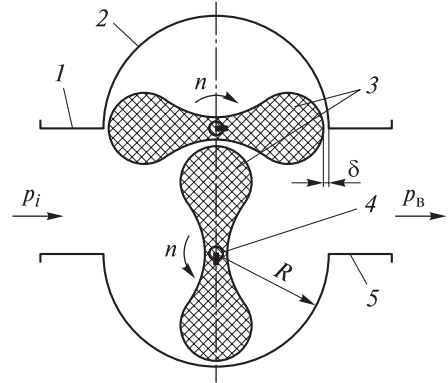


Рис. 1.11. Схема двухроторного насоса Руста:

1 — впускной патрубок (фланец); 2 — корпус; 3 — роторы, выполненные в форме «восьмерок»; 4 — вал; 5 — выпускной патрубок (фланец)

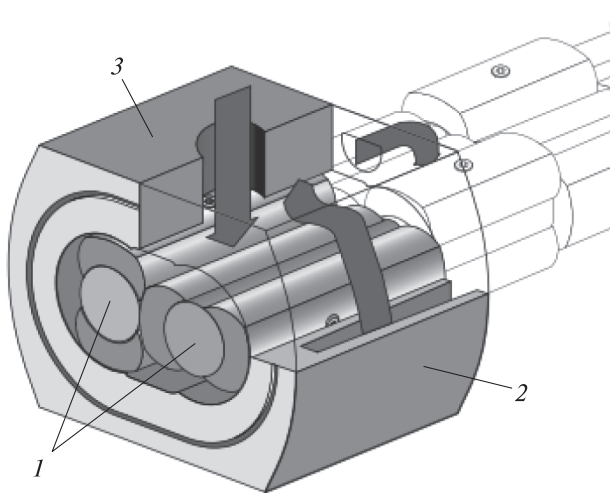


Рис. 1.12. Схема многоступенчатого насоса Руста:

1 — роторы, выполненные в форме «восьмерок» в количестве от четырех до шести пар; 2 — общий корпус насоса; 3 — впускной патрубок

дополнительно служит ловушкой для молекул газа. За счет разных значений зазора между роторами в каждой паре (ступени) эти насосы в отличие от классических насосов Рутса могут откачивать от атмосферного давления. Использование специального коррозионно-стойкого покрытия роторов, а также несколько большие зазоры между ними по сравнению с классическим исполнением, делают многоступенчатые насосы Рутса идеальными для применения в процессах плазмохимического травления и осаждения в линиях производства приборов и изделий микро- и нанозлектроники.

Тесты к лекции 5

1. Пластинчато-роторный насос является:

- а) насосом объемного действия с масляным уплотнением;
- б) обязательным элементом для процесса высоковакуумной откачки;
- в) универсальным форвакуумным насосом.

2. Спиральный вакуумный насос используется для:

- а) создания безмасляного вакуума в рабочей камере;
- б) откачки сжатого газа из турбомолекулярного насоса;
- в) откачки сжатого газа из диффузионного насоса.

3. Винтовой вакуумный насос предназначен для:

- а) создания безмасляного вакуума в рабочей камере;
- б) откачки камер с объемом больше 1000 литров;
- в) применения в установках нанесения тонких пленок.

4. Особенностью двухступенчатого насоса Рутса является:

- а) Использование его в качестве второй ступени совместно с другими механическими насосами;
- б) повышенная быстрота действия при давлениях, близких к атмосферному;
- в) возможность откачивать агрессивные газы.