

Объёмные вакуумные насосы (поршневые, кольцевые, ротационные)

В **поршневых вакуумных насосах** откачка осуществляется за счет периодического изменения объема цилиндра. Цилиндры могут быть простого и двойного действия с водяным или воздушным охлаждением. Скорость движения поршня обычно не превышает 1 м/с. Обычные поршневые насосы с самодействующими клапанами имеют предельное давление $4 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$ Па. Насосы с золотниковым распределением имеют более низкое предельное давление. $3 \cdot 10^2$ Па для одноступенчатых и 10 Па для двухступенчатых конструкций. Улучшение предельного давления достигается перепуском газа из мертвого пространства в конце хода поршня во вторую полость цилиндра, в которой заканчивается процесс всасывания. Быстрота действия современных поршневых насосов составляет 10-4000 л/с. Насосы обычно начинают работать от атмосферного давления.

Недостатком поршневых насосов является неравномерность процесса откачки, неполная уравнированность, большие потери на трение [~ 200 Вт/(л/с)] и большая удельная масса (10-20 кг/(л/с)).

Жидкостно-кольцевые насосы или насосы с жидкостным поршнем (рис. 3) имеют в цилиндрическом корпусе / эксцентрично расположенное рабочее колесо 2 с неподвижно закрепленными лопатками. Находящаяся внутри корпуса жидкость во время вращения под действием центробежных сил прижимается к стенкам корпуса и образует жидкостное кольцо 4. Между жидкостным кольцом и лопатками насоса образуются отдельные ячейки неодинакового размера. В начале их объем увеличивается, и газ через всасывающее отверстие 3 в торцевой крышке поступает в насос. Затем объем ячеек уменьшается, и сжатый газ через выхлопное отверстие 5 удаляется из насоса.

В качестве рабочей жидкости для откачки смеси воздуха с водяным паром используется вода, для откачки хлора - концентрированная серная кислота и т. д. По конструкции и условиям эксплуатации эти насосы проще поршневых, так как не имеют клапанов и распределительных устройств.

Предельное давление таких насосов определяется давлением насыщенных паров рабочей жидкости. Водокольцевые насосы имеют предельное давление $(2-3) \cdot 10^3$ Па. Насосы могут работать от атмосферного давления. В компрессорном режиме обеспечивают давление до $2 \cdot 10^5$ Па. Быстрота действия лежит в пределах от 25 до 500 л/с.

Недостатком насоса является довольно большой удельный расход мощности (~ 200 Вт/(л/с)) из-за необходимости перемещения жидкости, находящейся в насосе. Удельная масса насосов около 10 кг/(л/с).

Ротационные пластинчатые насосы (рис. 4) содержат цилиндрический корпус 7 с впускным 4 и выхлопным 3 патрубками и эксцентрично расположенный ротор 6, в пазах которого установлены пластины 5. Под действием центробежной силы пластины прижимаются к корпусу, обеспечивая изменение объема рабочей камеры насоса. Насосы с малой быстротой действия (~ 1 л/с) изготавливаются по схеме рис. 4а и



Рис. 3. Жидкостно-кольцевой насос.



Рис. 4. Ротационные пластинчатые насосы.

работают в масляной ванне, обеспечивающей герметизацию соединений насоса и снижение потерь на трение. Для предотвращения заполнения маслом рабочей камеры служит клапан 2. Начальное прижатие пластин к поверхности статора осуществляется пружиной 1.

Насосы с быстротой откачки до 10^3 л/с выполняются по схеме рис. 4б с большим числом пластин. В этих насосах нет масляной ванны, а для уменьшения потерь на трение используются беговые кольца 5, которые приводятся во вращение пластинами. Отверстия в беговых кольцах обеспечивают прохождение откачиваемого газа. В некоторых конструкциях, имеющих пластины из антифрикционных материалов, можно обойтись без беговых колец.

Предельное давление таких насосов определяется кроме газовыделения материалов насоса объемом вредного пространства и давлением насыщенных паров масла.

Вредное пространство насоса обозначено на рис. 5 буквой В. В пластинчато-роторных насосах объем вредного пространства частично заполняется рабочей жидкостью. В этих насосах в корпусе насоса из объема вредного пространства делается перепускной канал в одну из рабочих камер, не соединяющихся с откачиваемым объектом.

При откачке от атмосферного давления без учета давления насыщенных паров рабочей жидкости предельные давления насосов составляют: 1 Па - для схемы рис. 3а и $2 \cdot 10^3$ Па - для схемы рис. 3б.

Для уменьшения влияния объема вредного пространства на предельное давление пластинчато-роторных насосов их часто делают двухступенчатыми. В этом случае предельное давление снижается до 10^3 Па.

Удельная масса таких насосов от 10 до 30 кг/(л/с), удельный расход мощности от 0.1 до 0.3 кВт/(л/с), причем меньшие значения имеют многопластинчатые роторные насосы.

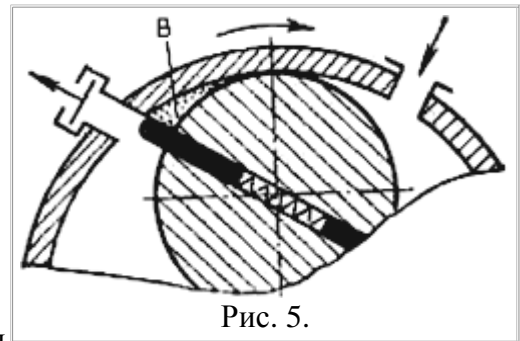


Рис. 5.

Ротационные насосы с катящимся ротором бывают в основном двух видов: **пластинчато-статорный насос** (рис. 6а) и **золотниковый насос** (рис. 6б).

Пластинчато-статорный насос составляют следующие основные элементы: корпус 1, эксцентричный ротор 2, выпускной патрубок 3, пластина 4, пружина 5, входной патрубок 6. Рабочее пространство насоса образуется между эксцентрично установленным ротором и корпусом насоса. При вращении по часовой стрелке за первый оборот ротора газ всасывается из откачиваемого объекта, а за второй оборот производится сжатие и выхлоп газа. Пластина под воздействием пружины герметично разделяет области всасывания и сжатия откачиваемого газа.

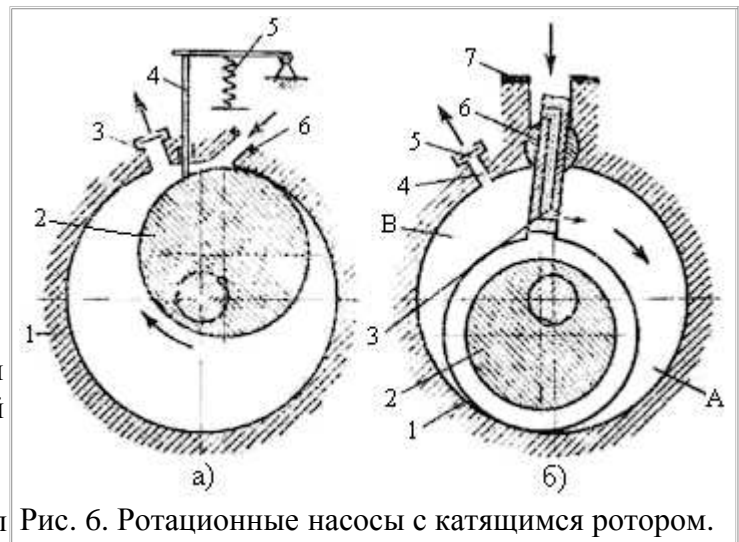


Рис. 6. Ротационные насосы с катящимся ротором.

Золотниковый насос состоит из корпуса 1, эксцентрично установленного ротора 2, золотника 3, выпускного патрубка 4, обратного клапана 5, шарнира 6 и входного патрубка 7. Газ из откачиваемого объекта через входной патрубок и отверстия в золотнике поступает в камеру всасывания А, увеличивающуюся при вращении ротора по часовой стрелке. В это же время объем камеры В уменьшается и находящийся в ней газ сжимается и выталкивается через выхлопной патрубок.

Пластинчато-статорный и золотниковый насосы работают в масляной ванне, так же как и пластинчато-роторный насос. Характеристики этих насосов примерно одинаковы, но золотниковые насосы изготавливаются на большие быстроты откачки - до 100 л/с.

В качестве рабочей жидкости насосов обычно применяются вакуумные масла, полученные из

обычных смазочных материалов отгонкой самых легких и самых тяжелых фракций. Температура вспышки масел должна быть не ниже 200°C , что характеризует отсутствие в масле легкоокисляющихся фракций.

Для работы с большой быстротой действия при малых степенях сжатия удобны ротационные вакуумные насосы с обкатываемыми профилями. Профили роторов в этих насосах таковы, что при внешнем зацеплении и взаимной обкатке они соприкасаются теоретически без зазора. Вращение роторов обеспечивается синхронизирующей передачей. В некоторых конструкциях маслonaполненных насосов синхронизирующая передача отсутствует и роторы соприкасаются. Наибольшее распространение получили двухроторные конструкции, хотя возможны насосы с тремя и более роторами.

По способу сжатия газа ротационные вакуумные насосы с обкатываемыми профилями можно разделить на насосы с внешним частичным внутренним и внутренним сжатием. В насосах с внешним сжатием газ сжимается только в процессе нагнетания. К таким насосам относятся двухроторные насосы (насосы Рутса), имеющими роторы с леминискатными профилями (рис. 7). За один оборот каждый из роторов дважды перебрасывает заштрихованный объем газа из области высокого вакуума в область предварительного разрежения. Роторы вращаются в разные стороны. Синхронность их вращения обеспечивается зубчатой передачей с передаточным числом, равным 1 (обозначена на рисунке пунктиром).

Двухроторные насосы имеют при тех же габаритах значительно большие быстроты действия, чем пластинчатые насосы и насосы с катящимся ротором, так как из-за отсутствия трения между ротором и статором можно значительно увеличить их частоту вращения. Быстрота действия современных двухроторных насосов лежит в пределах от 5 до 5000 л/с. Удельные характеристики насоса: $(0.5-3) \text{ кг}/(\text{л}\cdot\text{с})$ и $(6-30) \text{ Вт}/(\text{л}\cdot\text{с})$, причем меньшие значения удельной мощности для насосов с большой быстротой действия.

Работа объемных вакуумных насосов может сопровождаться рядом нежелательных явлений; проникновением паров рабочих жидкостей из насоса в откачиваемый объект; загрязнением насоса откачиваемыми веществами с высоким давлением насыщенных паров; потерей рабочей жидкости через выхлопной патрубок; утечкой откачиваемого газа и т. д.

Для ограничения этих явлений служит специальное сервисное оборудование, которым в случае необходимости снабжаются объемные насосы. К таким устройствам относятся ловушки, влагопоглотители, натекатели, конденсаторы, фильтры, уплотнители и т. д.

При высоких давлениях (более 10^2 Па) обратный поток паров рабочей жидкости задерживается встречным потоком откачиваемого газа и в применении защитных устройств не возникает необходимости. При более низких давлениях, когда длина свободного пути молекул газа становится больше диаметра входного патрубка насоса, пары рабочей жидкости могут двигаться навстречу основному потоку и проникать в откачиваемый объект. Если температура насоса выше, чем температура откачиваемого объекта, то обратный поток будет существовать до тех пор, пока вся рабочая жидкость насоса не переместится в откачиваемый объект. Для защиты откачиваемого объекта от паров рабочей жидкости используются ловушки - устройства для парциальной откачки паров рабочих жидкостей.

К ловушкам предъявляются следующие основные требования: максимальное защитное действие на заданном сроке службы и минимальное сопротивление основному потоку - откачиваемого газа. В качестве дополнительных требований можно назвать возможность регенерации, надежность, простота и технологичность, конструкции, удобство эксплуатации.

Механические ловушки для объемных насосов представляют собой устройства, работающие при температуре откачиваемого объекта. Для получения заметного защитного действия в момент остановки насоса в ловушке должны выполняться условия

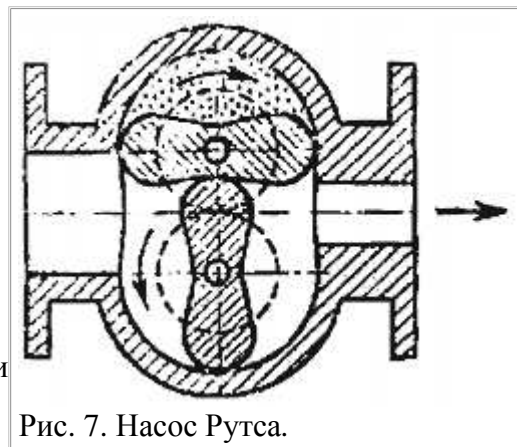
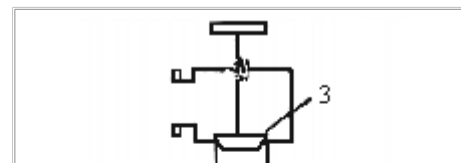


Рис. 7. Насос Рутса.



молекулярного режима течения газа вплоть до атмосферного давления, что соответствует наибольшему расстоянию между элементами ловушки 0.1 мкм. Такие размеры могут быть обеспечены только в пористых элементах, поэтому габариты ловушек зависят от удельной проводимости пористых материалов. Наиболее эффективно применение элементов из пористого стекла, стекловолоконистых материалов, пористых меди и нержавеющей стали.

Поглощение паров масла в ловушках осуществляется адсорбцией на стенках капиллярных каналов. Период непрерывной работы ловушки - составляет несколько сотен часов, по истечении которых элемент должен быть заменен, очищен продувкой атмосферным воздухом или прогрет до высоких температур ($\sim 500^\circ \text{C}$).

Термостатирование ловушек во время их работы осуществляется проточной водой. Снижение температуры ловушек дополнительно повышает их защитное действие, но несколько снижает удельную проводимость.

Увеличения срока службы ловушек можно достигнуть, добавляя в пористые фильтры адсорбционные материалы: активные угли, цеолиты с размерами пор $\sim 9 \text{ \AA}$, активную окись алюминия. Ловушки с адсорбентом (рис. 8) нельзя подвергать воздействию атмосферного воздуха, так как они могут поглотить большое количество воды, которая затем будет выделяться во время работы насоса. Для удаления поглощенных в адсорбционном элементе 1 масла и воды ловушку следует прогревать нагревателем 2 до $300 - 500^\circ \text{C}$. Клапан 3 изготавливается в одном корпусе с ловушкой и закрывается во время обезгаживания адсорбента.

В ионных ловушках (рис. 9) корпус, имеющий форму цилиндра служит заземленным катодом для холодного разряда. Анодом является стержень 1, расположенный вдоль оси цилиндра. Разряд горит, при напряжении на аноде $\sim 3 \text{ кВ}$ и наличии осевого магнитного поля, создаваемого внешними магнитами. Электроны, эмитируемые катодом, двигаются по удлиненной траектории к аноду, ионизируя остаточный газ. Положительные ионы, бомбардирующие поверхность корпуса разрушают поверхностную пленку масла. Это приводит к выделению водорода и полимеризации углеводородов в твердые вещества. Охлаждение корпуса и защитного экрана 2 осуществляется водой. Такая ловушка может уменьшить парциальное давление паров масла в 10 - 100 раз.



Рис. 9. Ионная ловушка.