

10 Пневматические машины

10.1 Компрессоры

Как уже отмечалось в подразделе 9.3, принцип действия аналогичных элементов пневматических и гидравлических систем одинаков. Это в полной мере можно отнести к пневматическим и гидравлическим машинам. Поэтому уравнения, описывающие работу гидромашин, формулы для определения их основных параметров, характеристики, классификация справедливы и для пневматических машин.

Компрессорами называют машины, предназначенные для сжатия и перемещения газов. В этих машинах подведенная механическая энергия преобразуется в энергию потока газа.

По принципу действия компрессоры аналогичны гидравлическим насосам и также делятся на два класса: динамические и объемные.

10.1.1 Динамические компрессоры

В динамических компрессорах энергия сообщается потоку газа за счет того, что рабочие органы компрессора оказывают силовое воздействие на газ, находящийся в его проточной части.

В промышленности используют динамические компрессоры лопастного типа, в которых рабочим органом является колесо с лопастями. Эти лопасти при вращении колеса оказывают силовое воздействие на газ.

По направлению движения потока газа относительно оси вращения рабочего колеса лопастные компрессоры делятся на *центробежные* и *осевые*. Если одно рабочее колесо (одна ступень) в лопастных компрессорах не может создать требуемое давление сжатия газа, то используют последовательно несколько ступеней сжатия - *многоступенчатые компрессоры*, которые применяют в пневмосистемах с рабочим давлением газа до 1 МПа и выше.

На рисунке 10.1, а представлена схема одной ступени центробежного компрессора. Газ поступает на лопатки рабочего колеса 2, которое вместе с валом 1 вращается в корпусе 3. Приобретя энергию на рабочем колесе, газ поступает сначала в диффузор 4, где кинетическая энергия превращается в потенциальную, а затем в обратный направляющий аппарат 5, где потенциальная энергия снова переходит в кинетическую. Рабочее колесо и обратный направляющий аппарат разделены диафрагмой 6. В многоступенчатом центробежном компрессоре ступени соединяются последовательно, как показано на рисунке 10.1, б. Число ступеней определяется требуемым давлением газа на выходе компрессора с учетом того, что в обычных конструкциях в одной ступени давление повышается в 1,2-1,5 раза.

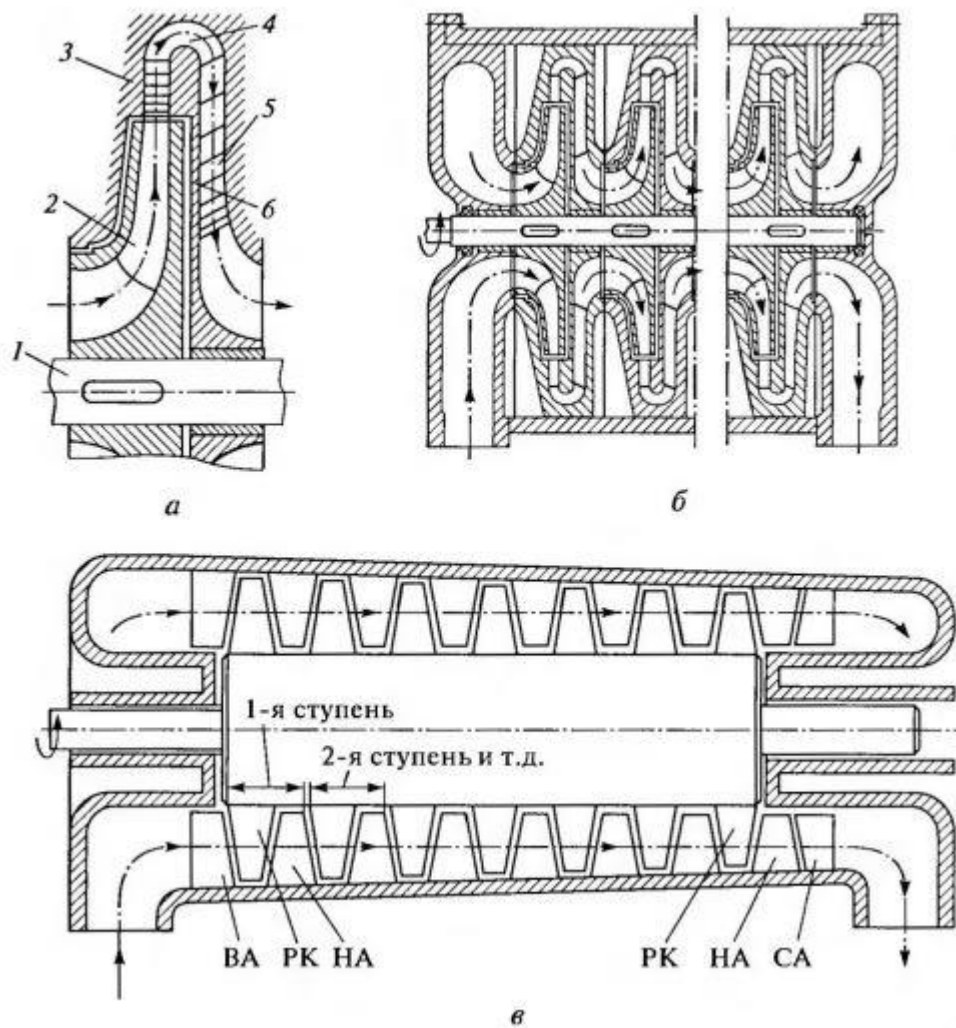


Рисунок 10.1 - Динамические компрессоры: а - схема одной ступени центробежного компрессора; б - схема соединения ступеней центробежного компрессора; в - конструктивная схема осевого компрессора; 1 - вал; 2 - рабочее колесо; 3 - корпус; 4 - диффузор; 5 - направляющий аппарат; 6 - диафрагма; ВА - входной направляющий аппарат; РК - рабочее колесо; НА - направляющий аппарат; СА - спрямляющий аппарат.

Примером простейшего одноступенчатого осевого компрессора может служить обычный бытовой вентилятор, у которого на роторе расположены лопасти (лопатки), сообщающие воздуху осевое движение.

В промышленности осевой компрессор - это сложная многоступенчатая лопастная машина, состоящая из ротора с закрепленными на нем рядами профилированных лопаток, каждый ряд которых представляет собой рабочее колесо одной ступени, и статора с закрепленными на нем рядами таких же лопаток, образующих направляющие аппараты ступеней.

Конструктивная схема многоступенчатого осевого компрессора представлена на рисунки 10.1, в. Газ поступает в компрессор через входной конфузор либо прямо на лопатки рабочего колеса первой ступени, либо через

лопатки входного направляющего аппарата ВА, создающего предварительную закрутку потока газа, что улучшает рабочие характеристики компрессора. За входным направляющим аппаратом располагаются ступени компрессора. Каждая ступень - совокупность рабочего колеса РК и следующего за ним направляющего аппарата НА. Цель направляющего аппарата - придать потоку газа, выходящему из рабочего колеса, направление движения, необходимое для поступления в следующую ступень.

Пройдя n ступеней компрессора, поток газа выходит закрученным и с большой скоростью. Для раскрутки потока и снижения его скорости перед выходным диффузором устанавливают спрямляющий аппарат СА.

10.1.2 Объемные компрессоры

Работа объемных компрессоров, как и объемных насосов, основана на принципе вытеснения газа из рабочих камер за счет движения вытеснителей.

Если вытеснители совершают только поступательное движение, то такие компрессоры называют *возвратно-поступательными* (или *поршневыми*). Процессы, которые происходят в рабочей камере поршневого компрессора, можно объяснить с помощью теоретической индикаторной диаграммы, представленной на рисунке 10.2, а. Она построена при допущении, что утечки и перетечки газа, объем воздуха в рабочей камере при крайнем левом положении поршня, потери во всасывающей и напорной пневмолиниях, а также инерционность клапанов отсутствуют.

При движении поршня из крайнего правого положения влево происходит сжатие газа. Процессу сжатия соответствует кривая 1-2 диаграммы. Характер кривой зависит от характера процесса (изотермический, адиабатический или политропический). При достижении давления сжатия p_2 открывается выпускной клапан K_1 и происходит процесс вытеснения газа из рабочей камеры в напорную пневмолинию. Процессу соответствует изобара 2-3. При крайнем левом положении поршня газ полностью вытеснен из рабочей камеры, выпускной клапан K_1 открыт, а впускной K_2 закрыт.

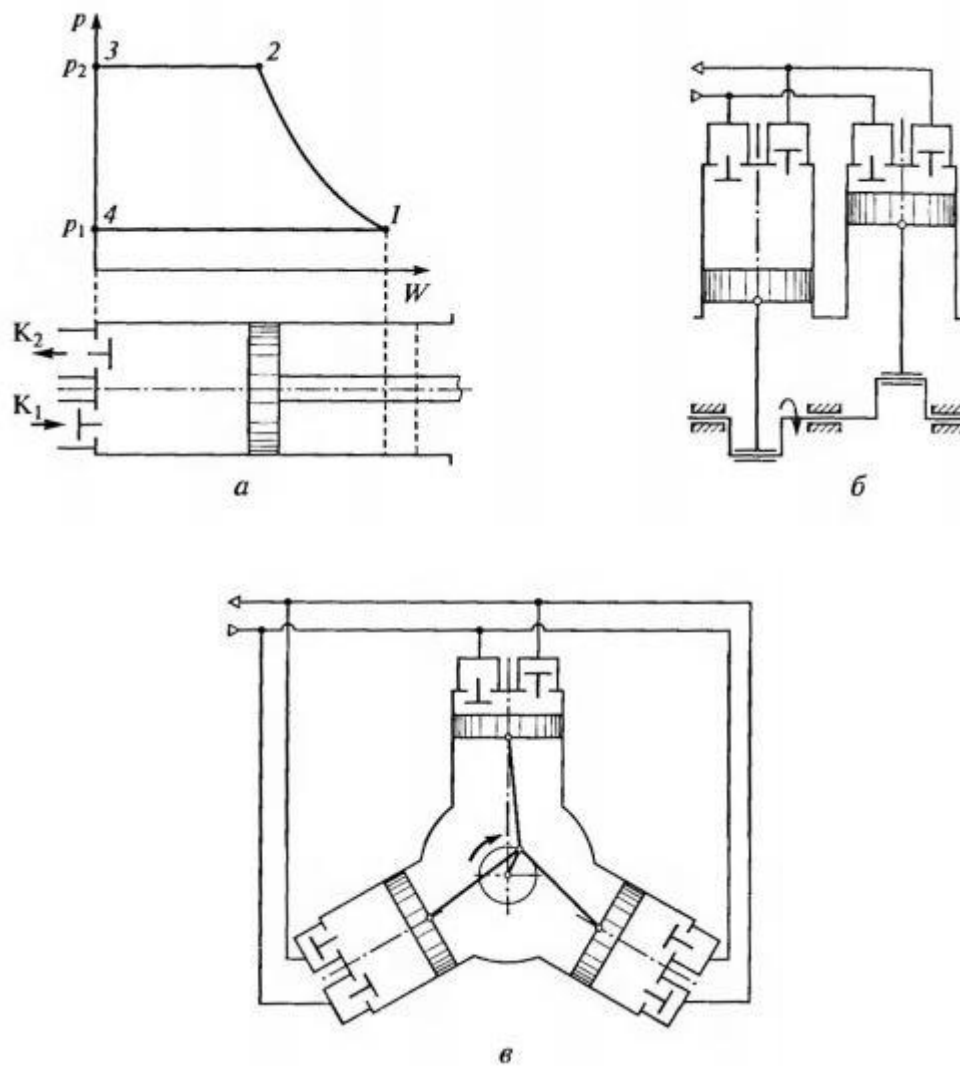


Рисунок 10.2 - Поршневые компрессоры: а - теоретическая индикаторная диаграмма одной ступени; б - многоцилиндровый компрессор с рядным расположением цилиндров; в - многоцилиндровый компрессор с радиальным расположением цилиндров.

В начале движения поршня вправо клапан K_1 закрывается, а клапан K_2 при падении давления в рабочей камере до p_1 открывается, и начинается процесс заполнения рабочей камеры при постоянном давлении $p_1 < p_0$, где p_0 - давление в пространстве, из которого воздух поступает в рабочую камеру. Процессу соответствует изобара 4-1. После прихода поршня в крайнее правое положение весь цикл повторяется.

Замкнутая фигура 1-2-3-4-1 является теоретической индикаторной диаграммой компрессора.

Любые неисправности, которые появляются в компрессоре (нарушение герметичности, разрушение пружин клапанов, появление дополнительных сопротивлений в пневмолиниях и т. п.), приводят к отклонению формы индикаторной диаграммы от эталонной. При эксплуатации компрессора

периодически снимают его индикаторную диаграмму и, сравнивая ее с эталонной диаграммой, оценивают его работоспособность.

Использование в поршневом компрессоре одной рабочей камеры, как и в поршневых насосах, приводит к существенной пульсации подачи газа. Поэтому в промышленных компрессорах используют несколько рабочих камер (цилиндров), которые располагаются в ряд (рисунок 10.2, б) или радиально (рисунок 10.2, в). Такие компрессоры называются *многоцилиндровыми*.

Компрессоры, в которых вытеснители совершают вращательное или вращательно-поступательное движение, называются *роторными*.

В промышленных компрессорных установках наибольшее распространение получили пластинчатые роторные компрессоры. Конструктивная схема такого компрессора представлена на рисунке 10.3. Внешний двигатель вращает ротор 1, ось которого смещена относительно оси полости статора (корпуса 2). Рабочие камеры компрессора образуются поверхностью ротора, стенками корпуса и пластинами 3, которые свободно перемещаются в пазах ротора и центробежной силой прижимаются к корпусу компрессора. За счет эксцентриситета при вращении ротора происходит изменение объема рабочих камер, и за один оборот ротора прослеживаются три процесса работы компрессора, отмеченные на схеме. Между стенками корпуса 2 циркулирует охлаждающая жидкость, обеспечивающая отвод тепла, выделяющегося при работе компрессора.

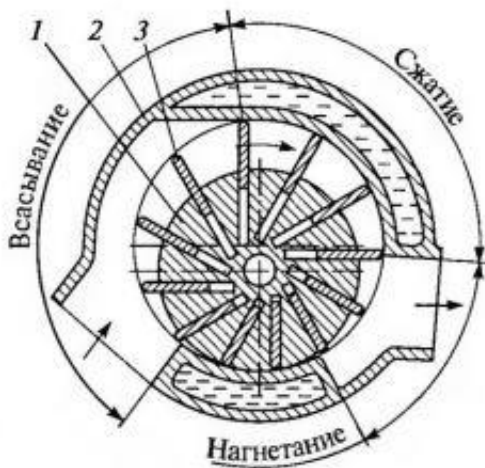


Рисунок 10.3 - Роторный компрессор: 1 - ротор; 2 - корпус; 3 - пластина.

Сравнение рассмотренных типов компрессоров проводится по тем же параметрам, что и для гидравлических насосов. Например, лопастные компрессоры, как и лопастные насосы, отличаются быстродействием, малой металлоемкостью, плавностью подачи, надежностью, долговечностью, и, что немаловажно, газ на выходе из такого компрессора практически свободен от паров масла. Однако каждая из ступеней может обеспечивать на выходе

невысокое давление. Поршневые компрессоры могут создавать высокое давление газа, однако у них большая металлоемкость, неравномерность подачи, ограниченное быстродействие. Роторные компрессоры по сравнению с поршневыми имеют меньшую металлоемкость, большую равномерность подачи и большее быстродействие. Поскольку смазка трущихся поверхностей в объемных компрессорах происходит непосредственно в рабочих камерах, то сжатый газ на выходе из компрессора содержит большое количество паров масла.

10.1.3 Охлаждение газа в компрессорах

Из термодинамики известно, что для устройства, рабочий процесс которого в системе координат p - w изображается в виде замкнутой линии, механическая работа пропорциональна площади, ограниченной этой линией, т.е. площади его индикаторной диаграммы. Минимальная площадь будет в том случае, если процесс сжатия (кривая 1-2 на рисунке 10.2, а) будет соответствовать изотермическому процессу.

В таком процессе постоянная температура газа поддерживается за счет отвода тепла, выделяющегося в компрессоре. На практике добиться изотермического процесса сжатия газа не удастся из-за необходимости серьезных усложнений конструкции системы охлаждения. В промышленных компрессорах различных типов система охлаждения обеспечивает политропический процесс сжатия, для которого показатель политропы $1 < n < k$ (для воздуха $k=1,4$). При этом, чем эффективнее система охлаждения, тем ближе процесс сжатия к изотермическому.

Охлаждение в компрессорах бывает водяное и воздушное. Воздушное охлаждение малоэффективно и применяется в компрессорах малой мощности. В промышленных компрессорных установках охлаждение происходит за счет циркуляции по полостям в корпусе компрессора охлаждающей жидкости, обтекающей рабочие камеры (см. рисунок 10.3). В центробежных компрессорах полости проектируют так, чтобы охлаждающая жидкость обтекала стенки направляющего аппарата каждой ступени (см. рисунок 10.1). Такое охлаждение называют внутренним или рубашечным, так как полости корпуса образуют как бы рубашку охлаждения.

В компрессорных установках, где используются объемные многоступенчатые компрессоры, помимо внутреннего охлаждения применяют внешнее с помощью охладителей, в которых газ отдает теплоту на пути между ступенями. В качестве таких охладителей чаще всего используют обычные трубчатые теплообменники (радиаторы), в которых под напором циркулирует вода или специальная охлаждающая жидкость. Использование и внутреннего, и внешнего охлаждения сжатого газа существенно повышает экономичность работы компрессоров.

10.2 Пневматические двигатели

Пневматические двигатели, как и гидравлические, делятся на возвратно-поступательные (пневмоцилиндры), поворотные и вращательные (пневмомоторы). Поскольку принцип действия пневматических и гидравлических двигателей одинаков, рассмотрим конструктивные особенности только тех двигателей, которые преимущественно применяются в пневматических системах.

10.2.1 Пневматические цилиндры

В пневматических системах высокого давления наибольшее распространение получили поршневые пневмоцилиндры как одностороннего, так и двухстороннего действия. Так как воздух обладает высокой сжимаемостью, он при сжатии накапливает значительную энергию. При определенных условиях эта энергия в пневмоцилиндрах переходит в кинетическую энергию поршня и других движущихся масс, вызывая ударные нагрузки, которые могут привести, например, к разрушению корпуса пневмоцилиндра или вызвать поломку в исполнительном механизме. Поэтому в пневмосистемах, где требуется плавная (безударная) остановка исполнительного механизма, применяют пневмоцилиндры с торможением в конце хода. Основным способом торможения - увеличение сопротивления течению воздуха в конце хода поршня. Одна из возможных схем поршневого пневмоцилиндра одностороннего действия с торможением представлена на рисунке 10.4, а.

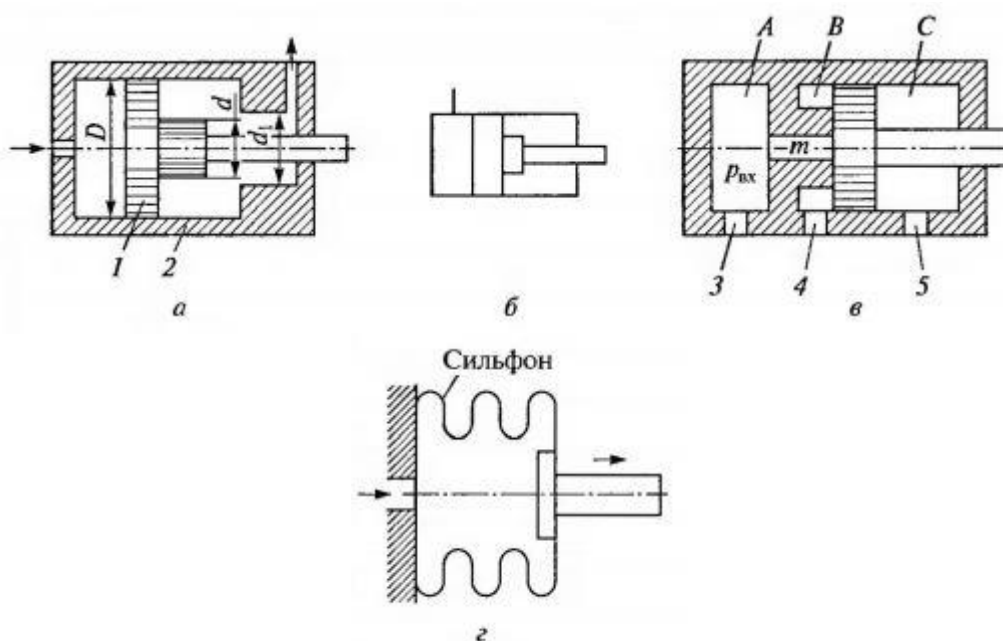


Рисунок 10.4 - Пневматические цилиндры: а - с торможением в конце хода; б - его условное графическое обозначение; в - ударного действия; г -

сильфонный; 1 - поршень; 2 - корпус; 3,4 - входные каналы; 5 - выпускной канал

При рабочем ходе поршня 1 диаметром D , пока часть поршня диаметром d не вошла в полость корпуса 2 диаметром d_1 , воздух беспрепятственно поступает в выхлопную пневмолинию. Когда часть поршня диаметром d входит в полость корпуса диаметром d_1 воздух из штоковой полости начинает проходить в выхлопную пневмолинию через кольцевой зазор $\delta=(d_1-d)/2$, который является пневматическим сопротивлением. В штоковой полости повышается давление и, следовательно, возникает тормозное усилие, которое растет по мере движения поршня, так как увеличивается сопротивление потоку воздуха. На рисунке 10.4, б показано условное графическое обозначение пневмоцилиндра с торможением.

Если в пневмосистеме используют обычный цилиндр без описанного выше устройства, то требуемое торможение обеспечивают за счет включения во внешнюю выхлопную пневмолинию специального местного сопротивления (дросселя).

В таких технологических операциях, как штамповка, клеймение, пробивка отверстий, обрубка литников и ряд других, требующих ударного воздействия, используют различные ударные пневмоцилиндры. Схема работы одного из них представлена на рисунке 10.4, в.

В цилиндре имеются три полости А, В, С. Полость А, которая играет роль ресивера, во время работы через канал 3 всегда соединена с напорной пневмолинией ($p_{вх}$). В исходном положении полость В через канал 4 соединена с атмосферой, а полость С через канал 5 - с напорной пневмолинией. За счет разности эффективных площадей поршень прижимается к седлу корпуса, перекрывая отверстие m . Для осуществления рабочего хода полость С соединяют с атмосферой, а канал 4 полости В перекрывают. Давление в полости С падает, и поршень начинает двигаться вправо. Как только поршень открывает отверстие m , резко возрастает движущая сила, поскольку сжатый воздух с давлением $p_{вх}$ действует теперь на всю площадь поршня. Поршень получает значительное ускорение. Чтобы избежать удара поршня о корпус цилиндра, в конструкции предусматривают возможность перекрытия канала 5 в конце хода поршня. Поршень останавливается без удара о корпус за счет сжатия воздуха в полости С. При первоначальном соединении полостей В и С поршень цилиндра приходит в исходное положение.

Наряду с мембранными пневмоцилиндрами, которые, как и гидравлические, применяются при небольших перемещениях выходного звена, в пневмосистемах низкого давления при малых перемещениях используют сильфонные пневмоцилиндры. Рабочей камерой такого пневмоцилиндра является полость гофрированной металлической трубки (сильфона), способной увеличивать свою длину под действием давления сжатого воздуха (рисунок 10.4, г). Как правило, сильфонные

пневмоцилиндры - одностороннего действия. Возврат в исходное положение происходит под действием внешних сил или упругих сил самого сильфона.

10.2.2 Поворотные пневмодвигатели и пневмомоторы

Поворотные пневмодвигатели, как и гидравлические, в основном используют в своей работе принцип механического преобразования поступательного движения поршня в поворотное движение выходного звена. На рисунке 10.5, а представлена схема поворотного пневмодвигателя с механическим преобразованием движения, в котором канал 1 и, следовательно, полость А всегда подключены к напорной пневмолинии с давлением $p_{вх}$. Если канал 2 соединить с напорной пневмолинией, а канал 3 с атмосферой, то под действием перепада давлений поршень 4 начнет перемещаться влево. При этом он будет поворачивать через цепную передачу звездочку 5 по часовой стрелке. Вращение звездочки и, следовательно, выходного вала в обратную сторону будет происходить при соединении канала 2 с атмосферой, а канала 3 с напорной пневмолинией.

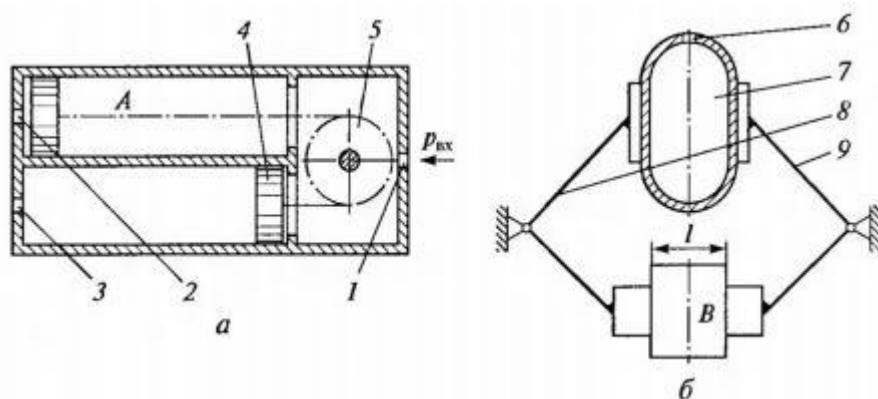


Рисунок 10.5 - Схемы поворотных пневмодвигателей: а - с механическим преобразованием движения; б - камерного; 1 - напорный канал; 2, 3 - рабочие каналы; 4 - поршень; 5 - звездочка; 6 - входной канал; 7 - рабочая камера; 8, 9 - поворотные рычаги

В механизмах для зажима деталей в станках и автоматических линиях используют *камерный* поворотный пневмодвигатель (рисунок 10.5, б). Сжатый воздух через канал 6 подается в камеру 7, стенки которой выполнены из эластичного материала. Под давлением воздуха камера расширяется, поворачивая рычага 8 и 9 вокруг осей вращения и обеспечивая тем самым зажим детали В. При этом усилие зажима практически не зависит от размера l детали В.

Пневмомоторы преимущественно используют принцип работы роторных машин. Наиболее широко применяются шестеренные и пластинчатые пневмомоторы. Их используют для привода ручного пневмоинструмента, сверлильных головок станков, лебедок и т. п.

На рисунке 10.6, а представлена схема работы шестеренного пневмомотора с внешним зацеплением. Сжатый воздух с давлением $p_{вх}$ через входной канал А подается к зубчатым колесам. Зубья, касаясь друг друга в точке зацепления b , отделяют полость высокого давления от полости выхлопа В. Давление $p_{вх}$ воздействует на зубья колес, которые имеют в области зацепления неуравновешенные участки ab и dc . На этих участках возникают неуравновешенные силы, равные произведению давления $p_{вх}$ и площади неуравновешенных участков зубьев. Эти силы создают моменты, вращающие колеса в направлениях, показанных стрелками. Точно по такому же принципу работает пневмомотор типа РУТС, у которого зубья колес имеют специфическую форму (рисунок 10.6, б).

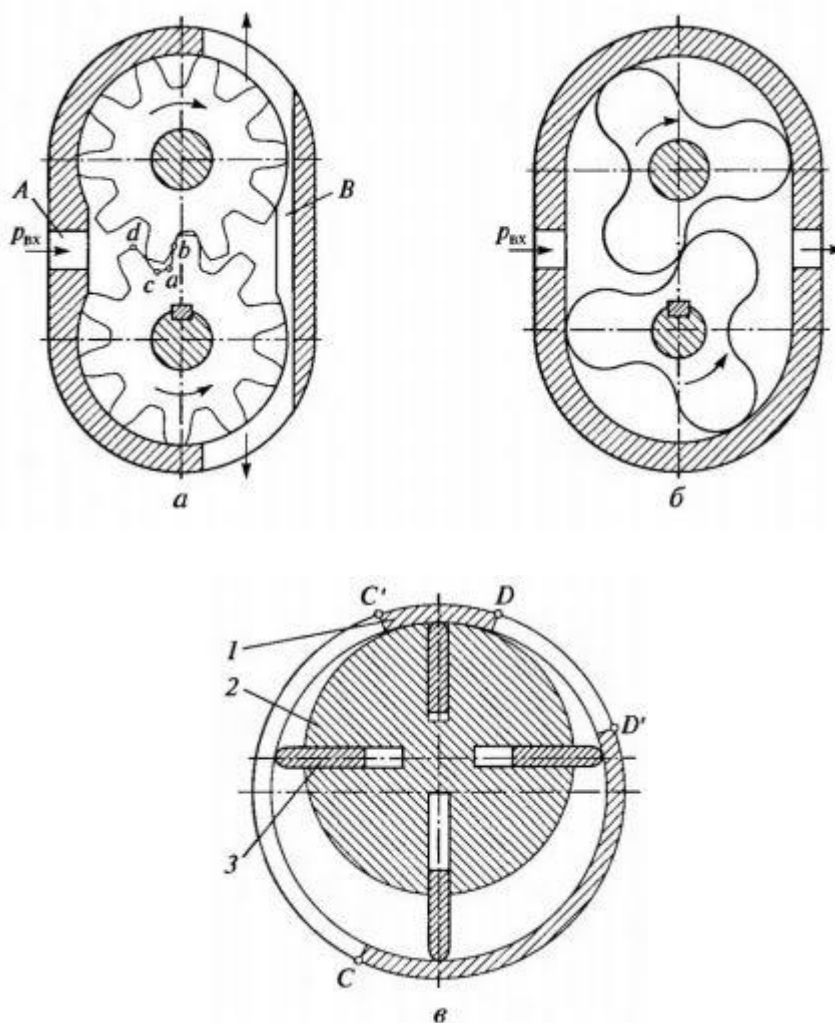


Рисунок 10.6 - Пневмомоторы: а - шестеренный; б - типа РУТС; в - пластинчатый; 1 - статор; 2 - ротор; 3 - пластина; А - входной канал; В - полость выхлопа

На рисунке 10.6, в представлена схема пластинчатого пневмомотора. Подача сжатого воздуха с давлением $p_{вх}$ происходит на участке DD' статора 1, а выхлоп - на участке CC' . Рабочая камера образована поверхностями

ротора 2, статора 1 и двух соседних пластин 3 на участке D'C. Из-за эксцентриситета в расположении осей ротора и статора объем рабочей камеры на участке D'C увеличивается, а давление воздуха при расширении падает и всегда будет меньше $p_{вх}$. Разность давлений по обе стороны пластин, находящихся в рабочей камере, создает результирующее усилие на пластину и, следовательно, вращающий момент, направленный по часовой стрелке. Пластины прижимаются к статору под действием центробежной силы и силы давления сжатого воздуха, который по специальным каналам подводится в пазы под торцы пластин.