

ЛЕКЦИЯ №1 ВВЕДЕНИЕ, ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ПРИВодОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Привод (он же силовой привод) — совокупность устройств, предназначенных для приведения в действие машин и механизмов (или их частей).

Машина — это технический объект, состоящий из взаимосвязанных функциональных частей (деталей, узлов, устройств, механизмов и др.), использующий энергию для выполнения возложенных на него функций.

Механизм — это внутреннее устройство машины, прибора, аппарата, приводящее их в действие [2]. Механизмы служат для передачи движения и преобразования энергии (редуктор, насос, электрический двигатель).

Привод это — что выполняет работу по превращению одного типа энергии в другой и передачи этой энергии исполнительному механизму. То, что приводит исполнительный механизм в движение, представляет собой своего рода «вставку» между приводным двигателем и нагрузкой (машиной или механизмом, движителем) и выполняет те же функции, что и механическая передача.

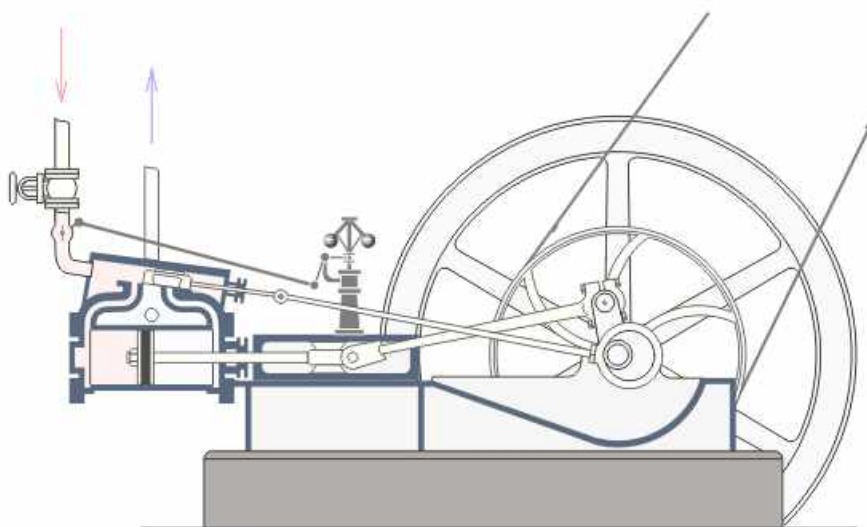
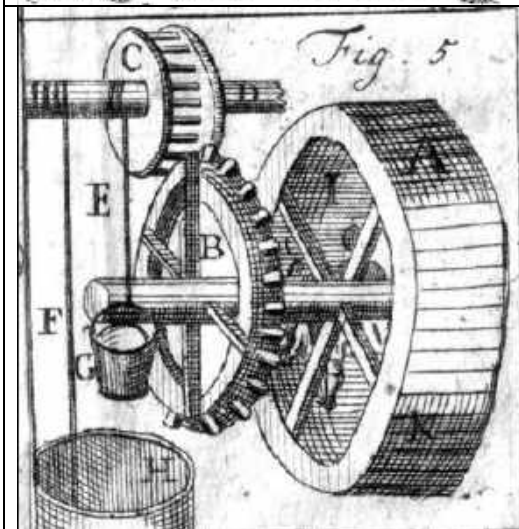


Рисунок 1 – Поровой привод

Различают привод групповой (для нескольких машин) и индивидуальный.

Мускульный двигатель (привод) — это машина, приводимая в движение мускульной силой животных. Устройство, использующее тяговое усилие животных (лошадей или волов) для передвижения стационарных сельскохозяйственных машин, таких как кормоуборочный комбайн, или молотилка, или для откачивания воды. Таким образом использовались лошади, ослы, быки, собаки и люди. Такая техника использовалась до 20-х годов XX-го века (рисунок 1.1).



Электрический привод. ЭП – это управляемая электромеханическая система, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую и обратно и управления этим процессом.

Современный электропривод — совокупность множества электромашин, аппаратов и систем управления ими.

ЭП можно подразделить на:

а) частотно-регулируемый (рисунок 1.1), система управления частотой вращения ротора асинхронного (или синхронного) электродвигателя. Состоит из собственно электродвигателя и частотного преобразователя.

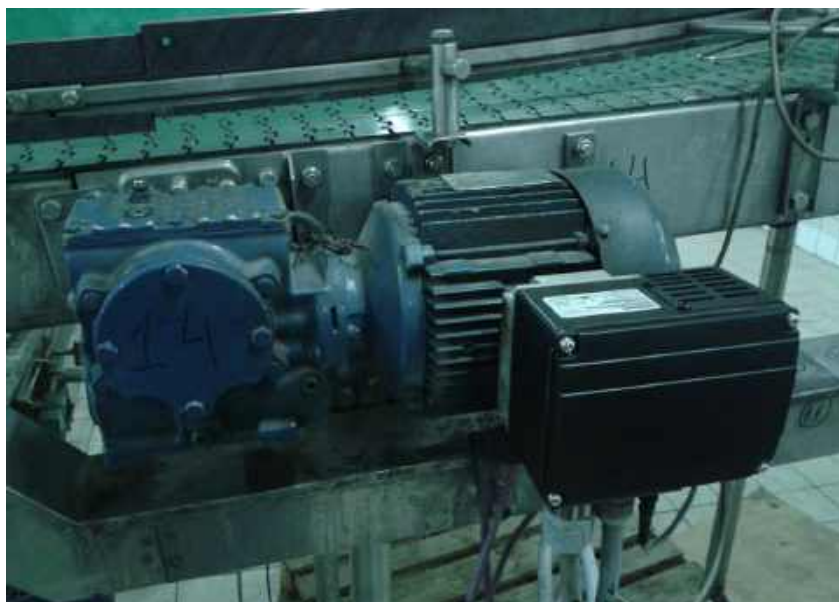


Рисунок 1.1 – частотно-регулируемы привод

б) Электрический привод арматуры (рисунок 1.2), это устройство, являющееся видом электрических приводов, служащее для механизации и автоматизации трубопроводной арматуры. Чаще всего электропривода используются для дистанционного управления арматурой, её открытия и закрытия, постоянного регулирования, а также для диагностики и определения положения арматуры.



Рисунок 1.2 – Привод арматуры

Достоинства электрического привода

1. Низкая стоимость энергии.

2. Простота конструкции всей системы (относительно двух других видов привода).

3. Обеспечение стабильной скорости работы.

4. Высокая точность работы

5. Возможность передачи энергии на расстояние без значительных потерь

6. Точное позиционирование и плавное регулирование.

7. Наиболее высокий КПД среди всех типов приводов

8. Простота объединения в синхронизированные системы (подъема или перемещения).

9. Простота автоматизации, широкий спектр дополнительных устройств, контролирующих и регулирующих датчиков.

10. Требуют минимальное тех.обслуживание

11. Низкий уровень шума

12. Экологичность, отсутствие вредного воздействия на окружающую среду.

13. Стабильная работа при относительно высоких и низких температурах +/- 50

Недостатки

1. Сложность применения в пожароопасных зонах и взрывоопасных средах, также при большой влажности.

Отчасти этот недостаток устраняется выбором специального типа двигателя с высокой степенью защиты.

2. Высокая стоимость, т.к. приобретается механизм уже с двигателем.

3. При длительной непрерывной работе возможен перегрев двигателя, износ трущихся частей

4. Электромагнитное поле может создавать помехи в сетях управления помехи в проходящих рядом других сетях (например, управления и сигнализации).

Гидравлический привод (гидропривод) — совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством гидравлической энергии (рисунок 1.3).

Гидропривод представляет собой своего рода «вставку» между приводным двигателем и нагрузкой (машиной или механизмом) и выполняет те же функции, что и механическая передача (редуктор, ремённая передача, кривошипно-шатунный механизм и т. д.).

Обязательными элементами гидропривода являются насос и гидродвигатель. Насос является источником гидравлической энергии, а гидродвигатель — её потребителем, то есть преобразует гидравлическую энергию в механическую. Управление движением выходных звеньев гидродвигателей осуществляется либо с помощью регулирующей аппаратуры — дросселей, гидрораспределителей и др., либо путём изменения параметров самого гидродвигателя и/или насоса.

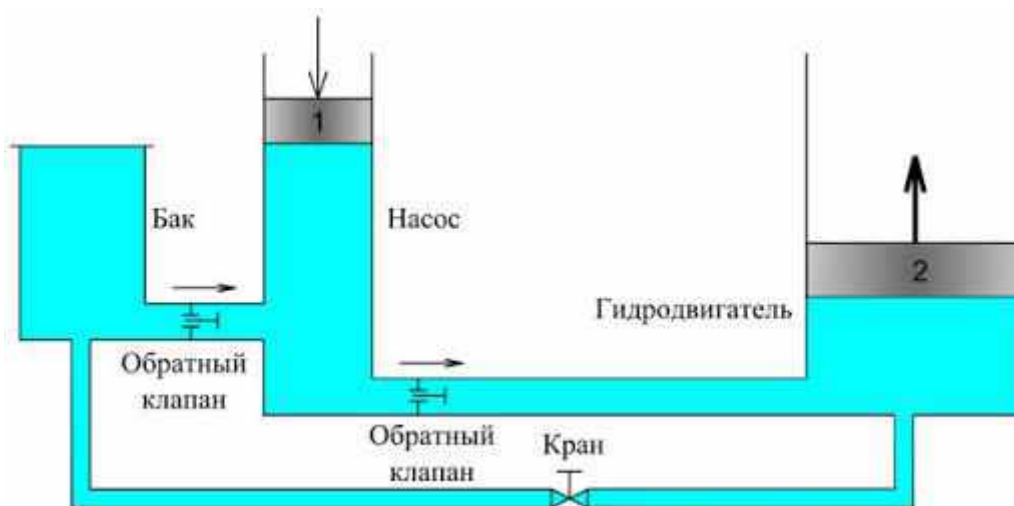


Рисунок 1.2 – Схема гидропривода

К основным преимуществам гидропривода относятся:

1. Возможность универсального преобразования механической характеристики приводного двигателя в соответствии с требованиями нагрузки;

2. Простота управления и автоматизации;

3. Простота предохранения приводного двигателя и исполнительных органов машин от перегрузок; например, если усилие на штоке гидроцилиндра становится слишком большим (такое возможно, в частности, когда шток, соединённый с рабочим органом, встречает препятствие на своём пути), то давление в гидросистеме достигает больших значений — тогда срабатывает предохранительный клапан в гидросистеме, и после этого жидкость идёт на слив в бак, и давление уменьшается;

4. Надёжность эксплуатации;

5. Широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости выходного звена; например, диапазон регулирования частоты вращения гидромотора может составлять от 2500 об/мин до 30—40 об/мин, а в некоторых случаях, у гидромоторов специального исполнения, доходит до 1—4 об/мин, что для электромоторов трудно реализуемо;

6. Большая передаваемая мощность на единицу массы привода; в частности, масса гидравлических машин примерно в 10-20 раз меньше массы электрических машин такой же мощности;

7. Самосмазываемость трущихся поверхностей при применении минеральных и синтетических масел в качестве рабочих жидкостей; нужно отметить, что при техническом обслуживании, например, мобильных строительно-дорожных машин на смазку уходит до 50 % всего времени обслуживания машины, поэтому самосмазываемость гидропривода является серьёзным преимуществом;

8. Возможность получения больших сил и мощностей при малых размерах и весе передаточного механизма;

9. Простота осуществления различных видов движения — поступательного, вращательного, поворотного;

10. Возможность частых и быстрых переключений при возвратно-поступательных и вращательных прямых и реверсивных движениях;

11. Возможность равномерного распределения усилий при одновременной передаче на несколько приводов;

12. Упрощённость компоновки основных узлов гидропривода внутри машин и агрегатов, в сравнении с другими видами приводов.

К недостаткам гидропривода относятся:

1. Утечки рабочей жидкости через уплотнения и зазоры, особенно при высоких значениях давления в гидросистеме, что требует высокой точности изготовления деталей гидрооборудования;

2. Нагрев рабочей жидкости при работе, что приводит к уменьшению вязкости рабочей жидкости и увеличению утечек, поэтому в ряде случаев необходимо применение специальных охлаждающих устройств и средств тепловой защиты;

3. Более низкий КПД чем у сопоставимых механических передач;

4. Необходимость обеспечения в процессе эксплуатации чистоты рабочей жидкости, поскольку наличие большого количества абразивных частиц в рабочей жидкости приводит к быстрому износу деталей гидрооборудования, увеличению зазоров и утечек через них, и, как следствие, к снижению объёмного КПД;

5. Необходимость защиты гидросистемы от проникновения в неё воздуха, наличие которого приводит к нестабильной работе гидропривода, большим гидравлическим потерям и нагреву рабочей жидкости;

6. Пожароопасность в случае применения горючих рабочих жидкостей, что налагает ограничения, например, на применение гидропривода в горячих цехах;

7. Зависимость вязкости рабочей жидкости, а значит и рабочих параметров гидропривода, от температуры окружающей среды, или дороговизна масел на основе ПАО;

8. В сравнении с пневмо- и электроприводом — невозможность эффективной передачи гидравлической энергии на большие расстояния вследствие больших потерь напора в гидролиниях на единицу длины.

Пневматический привод (пневмопривод) — совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение частей машин и механизмов посредством энергии сжатого воздуха.

Пневмопривод, (рисунок 1.3) подобно гидроприводу, представляет собой своего рода «пневматическую вставку» между приводным двигателем и нагрузкой (машиной или механизмом) и выполняет те же функции, что и механическая передача (редуктор, ремённая передача, кривошипно-шатунный механизм и т. д.)

Основное назначение пневмопривода, как и механической передачи, — преобразование механической характеристики приводного двигателя в соответствии с требованиями нагрузки (преобразование вида движения выходного звена двигателя, его параметров, а также регулирование, защита от

перегрузок и др.). Обязательными элементами пневмопривода являются компрессор (генератор пневматической энергии) и пневмодвигатель.

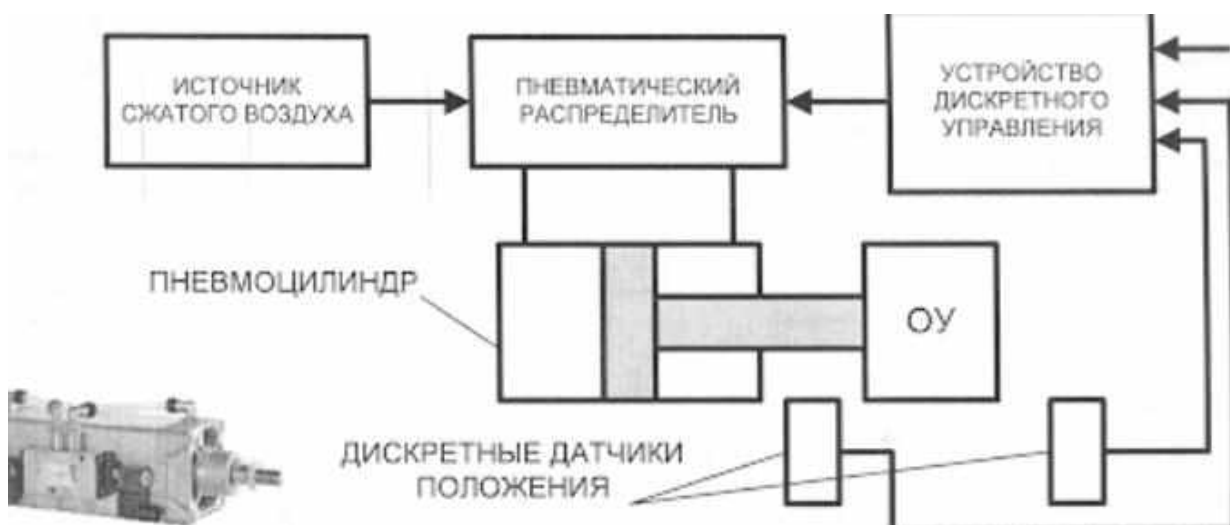


Рисунок 1.3 – Пневмопривод

К основным преимуществам пневмопривода относятся:

1. В отличие от гидропривода — отсутствие необходимости возвращать рабочее тело (воздух) назад к компрессору;
2. Меньший вес рабочего тела по сравнению с гидроприводом (актуально для ракетостроения);
3. Меньший вес исполнительных устройств по сравнению с электрическими;
4. Возможность упростить систему за счет использования в качестве источника энергии баллона со сжатым газом, такие системы иногда используют вместо пиропатронов, есть системы, где давление в баллоне достигает 500 МПа;
5. Простота и экономичность, обусловленные дешевизной рабочего газа;
6. Быстрота срабатывания и большие частоты вращения пневмомоторов (до нескольких десятков тысяч оборотов в минуту);
7. Пожаробезопасность и нейтральность рабочей среды, обеспечивающая возможность применения пневмопривода в шахтах и на химических производствах;
8. В сравнении с гидроприводом — способность передавать пневматическую энергию на большие расстояния (до нескольких километров), что позволяет использовать пневмопривод в качестве магистрального в шахтах и на рудниках;
9. В отличие от гидропривода, пневмопривод менее чувствителен к изменению температуры окружающей среды вследствие меньшей зависимости КПД от утечек рабочей среды (рабочего газа), поэтому изменение зазоров между деталями пневмооборудования и вязкости рабочей среды не оказывают серьёзного влияния на рабочие параметры пневмопривода; это делает пневмопривод удобным для использования в горячих цехах металлургических предприятий.

К недостаткам пневмопривода относятся:

1. Нагревание и охлаждение рабочего газа в процессе сжатия в компрессорах и расширения в пневмомоторах; этот недостаток обусловлен законами термодинамики, и приводит к следующим проблемам:
2. Возможность обмерзания пневмосистем;
3. Конденсация водяных паров из рабочего газа, и в связи с этим необходимость его осушения;
4. Высокая стоимость пневматической энергии по сравнению с электрической (примерно в 3-4 раза), что важно, например, при использовании пневмопривода в шахтах;
5. Ещё более низкий КПД, чем у гидропривода;
6. Низкие точность срабатывания и плавность хода;
7. Возможность взрывного разрыва трубопроводов или производственного травматизма, из-за чего в промышленном пневмоприводе применяются небольшие давления рабочего газа (обычно давление в пневмосистемах не превышает 1 МПа, хотя известны пневмосистемы с рабочим давлением до 7 МПа — например, на атомных электростанциях), и, как следствие, усилия на рабочих органах значительно меньшие в сравнении с гидроприводом). Там, где такой проблемы нет (на ракетах и самолетах) или размеры систем небольшие, давления могут достигать 20 МПа и даже выше.
8. Для регулирования величины поворота штока привода необходимо использование дорогостоящих устройств — позиционеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1988. — 640 с.
2. Шаньгин, Е. С. Привод механизмов и машин: монография: [в 6 т.] / Е. С. Шаньгин; Тюменский индустриальный университет. - Тюмень: ТИУ, 2019. - 271с.
3. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов и др. Т. IV-2. Электропривод. Гидро - и виброприводы. В 2-х кн. Кн. 2. Гидро- и виброприводы / Д.Н. Попов, В.К. Асташев, А.Н. Густомясов и др.; под общ. ред. Д.Н. Попова, В.К. Асташева. М.: Машиностроение, 2012. 304 с.

ЛЕКЦИЯ №2 ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАБОТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО, ПНЕВМАТИЧЕСКОГО И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

2.1 Механика и динамика электропривода.

Уравнение движения электропривода.

Когда момент, развиваемый двигателем, равен моменту сопротивления исполнительного органа, скорость привода постоянна. Однако во многих случаях привод ускоряется или замедляется, т.е. работает в переходном режиме.

Переходным режимом электропривода называют режим работы при переходе от одного установившегося состояния к другому, когда изменяются скорость, момент и ток.

Причинами возникновения переходных режимов в электроприводах является изменение нагрузки, связанное с производственным процессом, либо воздействие на электропривод при управлении им, т.е. пуск, торможение, изменение направления вращения и т.п., а также нарушение работы системы электроснабжения.

Уравнение движения электропривода должно учитывать все моменты, действующие в переходных режимах.

В общем виде уравнение движения электропривода может быть записано следующим образом

$$\pm M \pm M_{сnp} = J_{np} \frac{d\omega}{dt}. \quad (1)$$

При положительной скорости уравнение движения электропривода имеет вид

$$M - M_{сnp} = J_{np} \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

Уравнение (1) показывает, что развиваемый двигателем вращающий момент M уравнивается моментом сопротивления $M_{сnp}$ и динамическим моментом $J_{np} \frac{d\omega}{dt}$. В уравнениях (1) и (2) принято, что момент инерции привода J_{np} является постоянным, что справедливо для значительного числа исполнительных органов. Из анализа уравнения (2), видно:

1. При $M > M_{сnp}$, $\frac{d\omega}{dt} > 0$, т.е. имеет место ускорение привода;
2. $M < M_{сnp}$, $\frac{d\omega}{dt} < 0$, т.е. имеет место замедление привода (очевидно, замедление привода может быть и при отрицательном значении момента двигателя);
3. $M = M_{сnp}$, $\frac{d\omega}{dt} = 0$, данном случае привод работает в установившемся

режиме.

Динамический момент (правая часть уравнения моментов) проявляется только во время переходных режимов, когда изменяется скорость привода. При ускорении привода этот момент направлен против движения, а при торможении он поддерживает движение.

Активные моменты сопротивления – моменты, вызванные весом поднимаемого и спускаемого груза. В уравнении механического движения электропривода перед этим моментом всегда ставится знак (–) независимо от подъема или спуска груза.

Реактивный момент сопротивления – момент, всегда препятствующий движению электропривода и изменяющий свой знак при изменении направления движения (например, при резании металла). При положительной скорости электродвигателя перед этим моментом в уравнении механического движения электропривода необходимо ставить знак (–), а при обратном движении знак (+).

За положительное направление вала двигателя принимается вращение по часовой стрелке. Если вращающий момент на валу двигателя направлен в эту сторону, то ему приписывают знак (+). При обратном направлении движения – знак (–). В тормозных режимах двигателя знаки перед вращающимся моментом двигателя и угловой скоростью противоположны.

Механическая часть электропривода может быть сложной и представлять кинематическую цепь с большим числом движущихся элементов (шестерни, соединительные муфты, тормозные шкивы, барабаны, поворотные платформы, линейный стол, поднимаемые грузы и т.д.). Движение одного элемента дает полную информацию о движении всех остальных элементов. Обычно в качестве такого элемента принимают вал двигателя, приводя к нему моменты и усилия сопротивления, а также моменты инерции и массы.

В результате такого приведения реальная кинематическая схема заменяется расчетной энергетически эквивалентной схемой. Это позволяет наиболее точно исследовать характер движения привода и режим его работы, точнее формировать законы движения. Покажем такое

приведение на примере схемы механической части электропривода подъемной лебедки (рисунок 2.1).

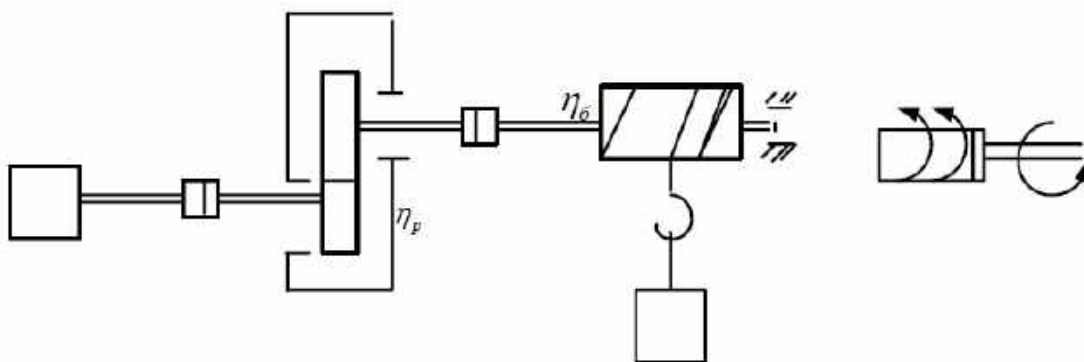


Рисунок 2.1 – Схема механической части электропривода

На основании вышеизложенного запишем в окончательном виде формулы приведенных к валу электродвигателя параметров исполнительных органов [1,2]. **Примем следующие допущения: система жесткая, без зазоров.** При прямом потоке энергии в механической части (подъем груза)

$$M_{сnp} = \frac{M_{с.мо}}{i_p \eta_n}$$

При обратном потоке энергии в механической части (опускание груза)

$$M_{сnp} = \frac{M_{с.мо} \eta_n}{i_p}$$

Во всех элементах, приборах и системах пневмоавтоматики рабочей средой чаще всего является предварительно сжатый в компрессоре воздух (в некоторых особых случаях применяют другие газы), который окружает нас в повседневной жизни.

Основные параметры газа

Давление. Если некоторое внешнее усилие воздействует на какой-либо замкнутый объем воздуха через подвижной элемент, например, поршень, то в воздухе создается внутреннее давление, равномерно действующее на все поверхности, ограничивающие этот объем (рисунок 2.2).

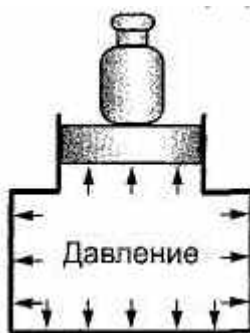


Рисунок 2.2 – Распределение давления

Значение внутреннего давления не зависит от формы объема, занимаемого воздухом, и определяется как результат деления модуля внешней силы на площадь поперечного сечения поршня:

$$P = \frac{F}{S}.$$

В международной системе единиц СИ единицей измерения давления будет Н/м². Эта единица носит название паскаль и обозначается Па.

Однако на практике следует применять единицу измерения паскаль [Па], а также производные от нее, такие как килопаскаль [кПа], мегапаскаль [МПа] и т. п.; в виде исключения используют бар [бар]:

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 10^2 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}.$$

Давление атмосферного воздуха на находящиеся в нем предметы и на земную поверхность называют атмосферным давлением и обозначают $P_{\text{атм}}$.

Основные физические свойства газов

Сжимаемость. Свойство газа изменять объем под действием давления называют сжимаемостью. Сжимаемость характеризуется коэффициентом объемного сжатия β , который представляет собой относительное изменение объема, приходящееся на единицу давления:

$$\beta_p = -\frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

Знак «минус» в формуле обусловлен тем, что положительному приращению (увеличению) давления соответствует отрицательное приращение (уменьшение) объема V .

Величина, обратная коэффициенту β , носит название объемного модуля упругости (модуля сжимаемости).

Температурное расширение. Температурное расширение характеризуется коэффициентом объемного расширения β_t , который представляет собой относительное изменение объема при изменении температуры на 1 К

$$\beta_t = \frac{1}{V_0} \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

Вязкость. Свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление сдвигу (скольжению) слоев жидкости или газа называют вязкостью. Вязкость — свойство противоположное текучести (степени подвижности частиц жидкости или газа):

Вязкость может быть охарактеризована коэффициентами динамической вязкости j_i и кинематической вязкости ν .

Единицей измерения коэффициента динамической вязкости j_i , или коэффициента внутреннего трения, является паскаль-секунда [Па·с]. Используется также единица измерения пуаз [П] системы единиц СГС: 1 П = 0,1 Па·с. Единицей коэффициента кинематической вязкости ν служит м²/с; применяют также единицу СГС стоке [Ст]: 1 Ст = 1 СИ м²/с.

Вязкость зависит от температуры (рисунок 2.3), причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен: вязкость жидкостей с увеличением температуры уменьшается, тогда как вязкость газов, наоборот, увеличивается (для воздуха данная зависимость незначительна).

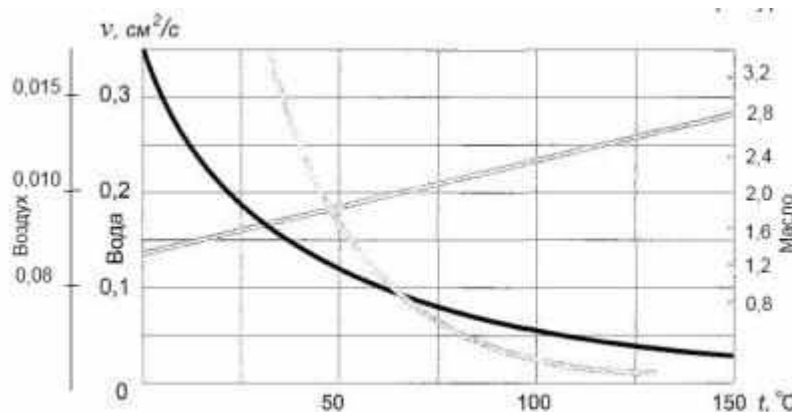


Рисунок 2.3 – Зависимость кинематической вязкости от температуры

Основные газовые законы.

Состояние газа характеризуется тремя основными параметрами — абсолютным давлением, абсолютной температурой и плотностью (удельным объемом). Взаимосвязь этих параметров газа именуют уравнением состояния. Состояние газа, называемого идеальным, описывается уравнением Клапейрона — Менделеева

$$P = \rho RT$$

где P — абсолютное давление, Н/м²;

ρ — плотность, кг/м³;

R — удельная газовая постоянная, Дж/(кг*К); обычно для воздуха $R = 287$ Дж/(кг*К);

T — абсолютная температура, К.

Идеальным газом называют такой газ, в котором отсутствуют силы взаимодействия между молекулами, считающимися материальными точками, не имеющими объема. Несмотря на то что воздух не является идеальным газом, для большинства газовых процессов, протекающих при давлениях, не превышающих 20 МПа (200 бар), это уравнение остается в достаточной мере справедливым.

Введя в данное уравнение формулу, определяющую плотность через массу и объем, получим соотношение, которое описывает состояние m килограммов идеального газа объемом V :

$$mRT = pV$$

Нетрудно заметить, что для какой-либо постоянной массы газа левая часть уравнения есть величина неизменная (константа):

$$pV = \text{const}$$

Данное уравнение обобщает основные газовые законы: Бойля — Мариотта, Шарля и Гей-Люссака.

Закон Бойля-Мариотта. Если абсолютная температура газа остается постоянной, то произведение абсолютного давления газа на его объем есть также величина постоянная для данной массы газа; иными словами, давление газа обратно пропорционально его объему (рисунок 2.4).

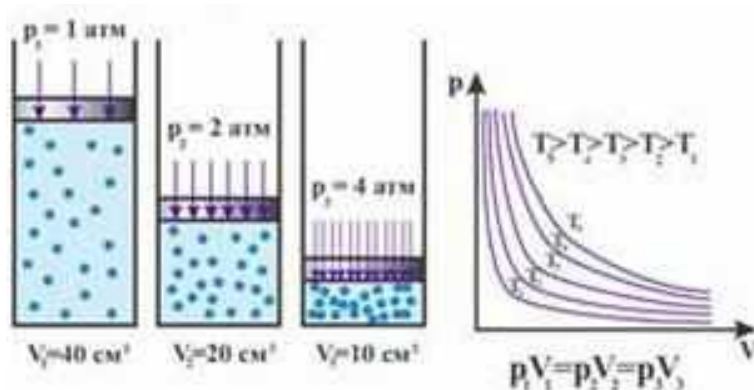


Рисунок 2.4 – Закон Бойля-Мариотта

Подобные процессы (протекающие при постоянной температуре) называют **изотермическими** - абсолютная температура рабочего тела в системе постоянна.

Процессы, при которых полностью исключается подвод и отвод тепла к термодинамической системе носят название **адиабатных** процессов.

Закон Шарля. Если замкнутый объем данной массы газа остается постоянным, то отношение абсолютного давления газа к его абсолютной температуре есть также величина постоянная; иными словами, давление газа прямо пропорционально его температуре.

Например, при нагревании газа в замкнутом объеме его давление возрастает, а при охлаждении, наоборот, падает (рисунок 2.5)

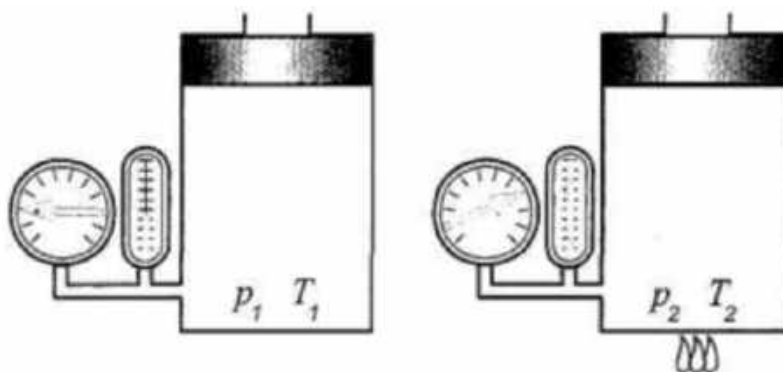


Рисунок 2.5 – Закон Шарля

Закон Гей-Люссака. Если абсолютное давление газа остается постоянным, то отношение объема данной массы газа к его абсолютной температуре есть также величина постоянная; иными словами, объем прямо пропорционален температуре.

Например, при нагревании газа, находящегося под постоянным давлением, его объем увеличивается, а при охлаждении — уменьшается (рисунок 2.6).

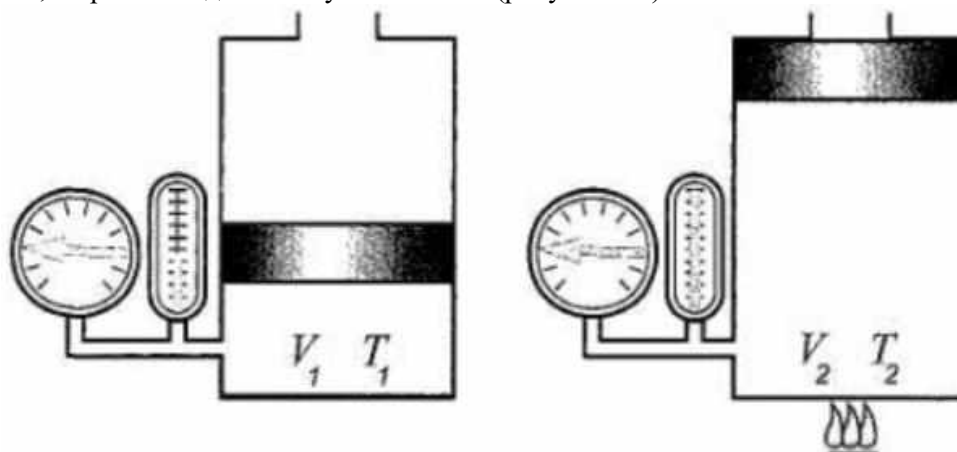


Рисунок 2.6 – Закон Гей-Люссака

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Работа гидравлического привода связана с гидродинамикой.

Гидродинамика – раздел гидравлики, в котором изучаются законы движения жидкости и ее взаимодействие с неподвижными и подвижными поверхностями.

При изучении движения жидкости гидродинамика использует метод Л. Эйлера, согласно которому движение отдельных частиц жидкости и потока в целом рассматривается относительно неподвижных точек пространства, занятого движущейся жидкостью.

При теоретических исследованиях гидродинамика использует свойства идеальной жидкости. Решения, полученные для идеальной жидкости, распространяются на реальную жидкость, а в аналитические зависимости вносят поправочные коэффициенты, полученные экспериментальным путем и которые учитывают влияние на движение свойств реальных жидкостей.

Различают установившееся и неуставившееся движения жидкости.

Установившееся движение – это такое движение, когда скорость и давление в любой точке движущейся жидкости не изменяются во времени, а зависят только от местонахождения точки в пространстве:

$$v = f_1(x, y, z) \quad p = f_2(x, y, z)$$

Примерами установившегося движения жидкости являются истечение жидкости через отверстие в резервуарах при постоянном уровне течения в нефтепроводах при неизменном характере работы потребителей; движение жидкости в нагнетательной и всасывающей линиях центробежного насоса при постоянном числе оборотов привода и неизменных сопротивлениях в линиях.

Неустановившееся движение – это такое движение, когда скорость и давление в каждой точке изменяются с течением времени, т. е. являются функциями координат и времени

$$v = f_1(x, y, z, t) \quad p = f_2(x, y, z, t)$$

В этом случае скорость и давление зависят не только от их местонахождения в пространстве, но и от времени. Примерами неустановившегося движения жидкости являются опорожнение и заполнение резервуаров, трубопроводов, течение в трубопроводах при остановке, при запуске насосов, при открытии или закрытии запорной арматуры и др.

Уравнение Бернулли устанавливает связь между давлением, скоростью и геометрической высотой в различных сечениях, является основным уравнением практической гидродинамики (рисунок 2.7).

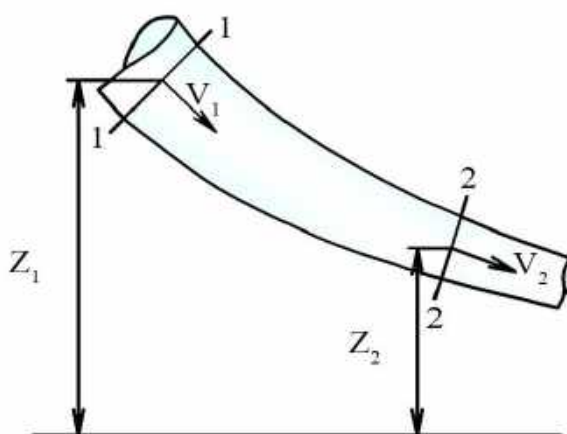


Рисунок 2.7 – Течение жидкости

$$z_1 + (p_1/\rho g) + (V_1^2/2g) = z_2 + (p_2/\rho g) + (V_2^2/2g)$$

где z - геометрическая высота,
 p - давление в выбранном сечении,

V - скорость жидкости в выбранном сечении,
 ρ - плотность жидкости,
 g - ускорение свободного падения.

Указанное уравнение называют законом или уравнением Бернулли для элементарной струйки идеальной несжимаемой жидкости.

Для каждого рассматриваемого сечения полный напор есть сумма геометрического, пьезометрического и скоростного напора. Для идеальной жидкости (т.е. при отсутствии потерь энергии) полный напор - величина постоянная.

$$z + p/\rho g + V^2/2g = H = \text{const}$$

где z - геометрический напор,
 $p/\rho g$ - пьезометрический напор,
 $z + p/\rho g$ - статический напор,
 $V^2/2g$ - скоростной напор,
 $z + p/\rho g + V^2/2g = H$ - полный напор.

Физический и энергетический смысл уравнения Бернулли заключается в постоянстве полной удельной энергии вдоль элементарной струйки идеальной жидкости.

Уравнение Бернулли отражает закон сохранения механической энергии для идеальной несжимаемой жидкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: КолосС, 2007. – 252 с.: ил. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0540-5

2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]: учебник для вузов / Н.Ф. Ильинский. – М.: Изд. МЭИ, 2007. – 221 с.: ил. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00001-4

ЛЕКЦИЯ №3 НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО, КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Электрический привод — техническая система, состоящая в общем случае из подключенного к источнику энергии (ИЭ) преобразователя электрической энергии (ПЭЭ), электрического двигателя (ЭД), передаточного устройства (ПУ), управляющего устройства (УУ) и датчиков координат электропривода, предназначенная для приведения в движение исполнительного органа (ИО) рабочей машины (РМ) и управления этим движением в целях осуществления требуемого технологического процесса РМ. Функциональная схема электропривода приведена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Технологический процесс работы электропривода

Исполнительный орган РМ — движущийся элемент, выполняющий технологическую операцию РМ. Последняя может осуществлять различные технологические операции (изменение формы, свойств, состояния и положения предметов труда); соответственно, и исполнительного

органа разнообразны: рабочие валки в прокатных станах, барабан в наматывающих и разматывающих устройствах, кабина в лифтовых установках, ковш в экскаваторах и т.д.

ИО не входит в состав электропривода, но его параметры (момент инерции, момент нагрузки, упругости, зазоры и т.д.) должны учитываться при составлении математического описания и исследовании динамических свойств электропривода. Электропривод совместно с исполнительным органом рабочей машины образует электромеханическую систему (ЭМС), состоящую из электрической и механической частей. В ряде случаев электродвигатель, исполнительный орган и рабочая машина конструктивно объединяются и входят в мехатронный модуль движения.

Мехатронный модуль движения — интегрированное управляемое электромеханическое устройство, базирующееся на функциональном и конструктивном объединении исполнительного органа рабочей машины, электродвигателя, преобразователя электрической энергии и устройств управления.

Электропривод состоит из двух каналов: силового и информационного.

Силовой канал электропривода — совокупность устройств, осуществляющих передачу энергии от источника энергии к исполнительному органу рабочей машины, обслуживаемой электроприводом, и в некоторых случаях — в обратном направлении.

Информационный канал — совокупность устройств, обеспечивающих управление передачей и преобразованием энергии в силовом канале электропривода с целью осуществления требуемого протекания технологического процесса рабочей машины путем формирования управляемого движения ИО.

В состав информационного канала входят управляющие устройства и датчики координат электропривода.

Компоненты электропривода. Основными компонентами электропривода являются электродвигатель, преобразователь электрической энергии, передаточное устройство, управляющие устройства и датчики координат электропривода.

Электрический двигатель — электромеханический преобразователь, предназначенный для преобразования электрической энергии в механическую (рисунок 3.2). В качестве ЭД могут использоваться двигатели постоянного тока (независимого или последовательного возбуждения), переменного тока (асинхронные, синхронные), вентильно-индукторные, шаговые, магнитострикционные, пьезоэлектрические, емкостные, электромагнитные и другие двигатели.



Рисунок 3.2 – Электродвигатель

Преобразователь электрической энергии в электроприводе — устройство, преобразующее электрическую энергию в электрическую же энергию с другими характеристиками (рисунок 3.3).

ПЭЭ по своим функциям классифицируются следующим образом:

- преобразователи переменного тока в постоянный. Такие преобразователи называются выпрямителями и могут быть неуправляемыми и управляемыми;

- преобразователи переменного тока одной частоты в переменный ток другой частоты. К этой группе относятся преобразователи частоты с непосредственной связью (НПЧ);
- преобразователи постоянного тока в переменный (инверторы). Различают автономные инверторы напряжения (ДИН) и автономные инверторы тока (АИТ);
- преобразователи постоянного тока в постоянный. Эту группу составляют широтно-импульсные преобразователи (ШИП);
- преобразователи переменного напряжения в регулируемое или нерегулируемое переменное напряжение той же частоты.

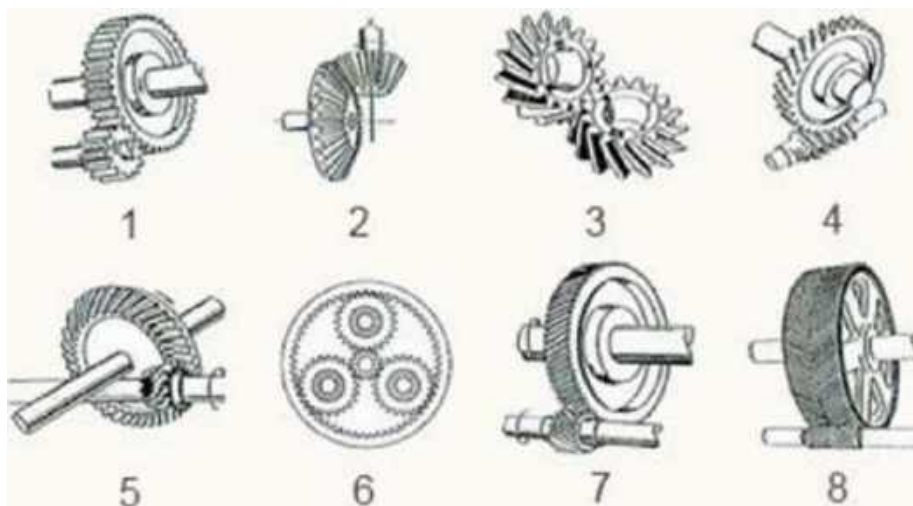


Рисунок 3.3 – Преобразователь электрической энергии

Передаточное устройство — устройство, служащее для передачи, как правило, вращательного движения ЭД в движение ИО РМ с соответствующим преобразованием скорости и вращающего момента.

С помощью ПУ решаются следующие задачи: преобразования вращательного движения в поступательное, понижения или повышения скорости, изменения направления движения, приведения в движение одним двигателем нескольких исполнительных органов рабочей машины и др.

Наибольшее распространение в электроприводе получили механические ПУ; редукторы (цилиндрические, червячные, конические, волновые, планетарные и т.п.), винт-гайка, ходовое колесо-опора, барабан-канат, звездочка-цепь, шестерня-рейка, кривошипно-шатунные (рисунок 3.4).



1. Прямозубая цилиндрическая зубчатая передача; 2. Прямозубая коническая зубчатая передача; 3. Зубчатая коническая передача с криволинейными зубьями; 4. Червячная передача; 5. Гипоидная передача; 6. Планетарная передача; 7. Косозубая цилиндрическая зубчатая передача; 8. Шевронная зубчатая передача.

Рисунок 3.4 – Типы редукторов по приводу передачи

Управляющее устройство – устройство (или совокупность устройств) в составе электропривода, которое посредством управляющих воздействий (команд), вырабатываемых и соответствию с заданной целью управления или установленным законом регулирования координат электропривода, действует на компоненты силового канала, обеспечивая требуемый закон функционирования электропривода.

УУ может быть выполнено на базе релейно-контакторной аппаратуры, аналоговых регуляторов, элементов жесткой логики и т.д. В настоящее время очень часто в электроприводах в качестве УУ используются микропроцессорные средства (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Управляющее устройство электропривода

Датчики координат в электроприводе (то же, что измерительные преобразователи в электроприводе) — средства измерений, преобразующие измеряемые физические величины в электрический сигнал для дальнейшей обработки, передачи, хранения, регистрации и управления.

Классификация электроприводов — разделение электроприводов на классы (группы) по различным признакам.

Наиболее часто электроприводы классифицируются по:

- типу электродвигателя;

- типу преобразователя электрической энергии;
- отношению числа двигателей к числу исполнительных органов рабочей машины;
- числу учитываемых инерционных масс электропривода и механизма;
- направлению вращения;
- характеру движения;
- связи электродвигателя с исполнительным органом рабочей машины;
- регулируемым координатам;
- источнику питания.

По типу электродвигателя различают электроприводы с двигателями:

- постоянного тока (с независимым, последовательным или смешанным возбуждением);
- переменного тока (асинхронные с короткозамкнутым или фазным ротором, синхронные с электромагнитным возбуждением или возбуждением от постоянных магнитов);
- вентильно-индукторными (с самовозбуждением или независимым возбуждением);
- шаговыми;
- магнитострикционными;
- пьезоэлектрическими; электромагнитными.

По типу преобразователя электрической энергии электроприводы постоянного тока разделяют на электроприводы, выполненные по системе:

- генератор-двигатель;
- тиристорный преобразователь-двигатель;
- транзисторный преобразователь-двигатель;
- параметрический источник тока-двигатель.

В зависимости от числа двигателей и исполнительных органов рабочей машины различают:

- групповой электропривод, в котором один электродвигатель обеспечивает движение, исполнительного органа нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной рабочей машины;
- индивидуальный электропривод, выполняющих движение одного исполнительного органа рабочей машины посредством отдельного электродвигателя;
- многодвигательный электропривод, представляющий собой совокупность индивидуальных электроприводов, или работающих на один вал, или связанных механически через исполнительный орган рабочей машины, или связанных между собой через обрабатываемый материал.

По направлению вращения электроприводы разделяют на нереверсивные и реверсивные.

По характеру движения есть электроприводы, обеспечивающие движение:

- вращательное;
- поступательное;
- многокоординатное.

По числу учитываемых инерционных масс механической части электромеханических систем, связанных между собой упругими связями, различают:

много-, двух- и одномассовые электроприводы и электроприводы с распределенными параметрами механических элементов.

По связи электродвигателя с исполнительным органом рабочей машины электроприводы подразделяют на:

- безредукторные;
- редукторные.

По основной регулируемой координате различают:

- моментные;
- скоростные;
- позиционные электроприводы.

По источнику питания бывают:

- электроприводы, получающие электрическую энергию от промышленных сетей;
- автономные, не связанные с промышленными сетями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Колос, 2007. – 252 с.: ил. – 1000 экз.–ISBN 978-5-9532-0540-5

2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]: учебник для вузов /Н.Ф Ильинский. – М.: Изд. МЭИ, 2007. – 221 с.: ил. – 1000 экз.– ISBN 978-5-383-00001-4.

3. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т.IV-2/ Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.

4.

ЛЕКЦИЯ №4 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Применение электродвигателей в электроприводах. Важнейшим и обязательным элементом электропривода является электрическая машина (ЭМ), непосредственно с помощью которой преобразуется электрическая энергия (ЭЭ) в механическую и механической в электрическую.

ЭМ, основным назначением которой является преобразование механической энергии (МЭ) в электрическую, называется **генератором**. ЭМ, предназначенная преимущественно для обратного преобразования, называется **двигателем**.

На рисунке 4.1 приведена классификация двигателей, которые в настоящее время находят наибольшее применение в электроприводах.

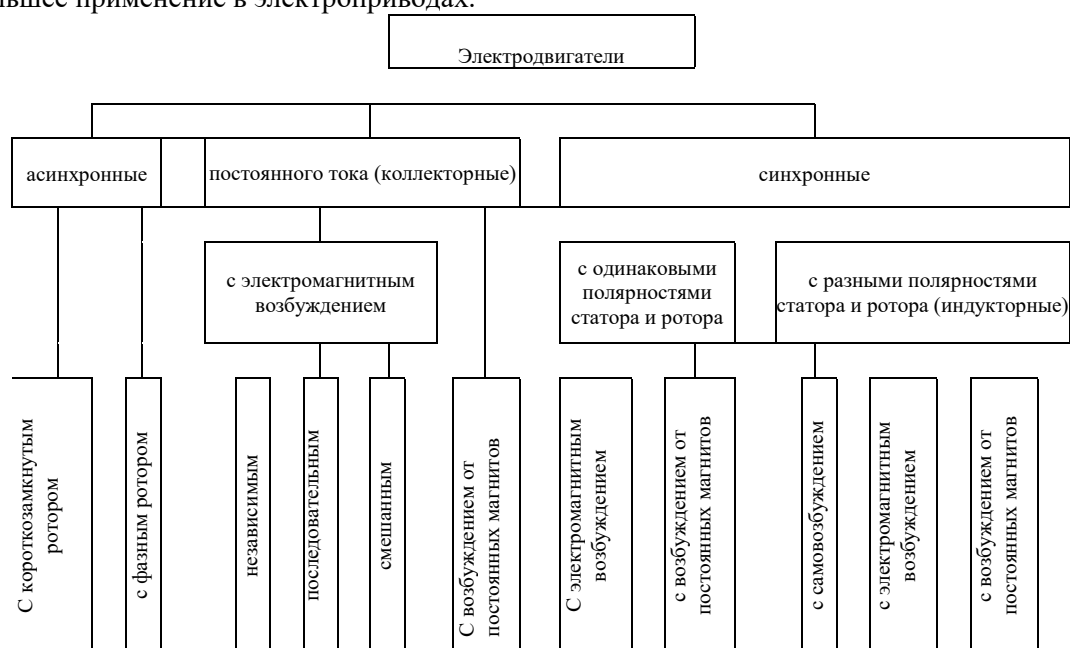


Рисунок 4.1 – Классификация электродвигателей

Асинхронные двигатели Конструкция АД включает две главных основные части, это: неподвижный статор и вращающийся в нем – ротор. Между ними существует, разделяющий их воздушный зазор. И ротор, и статор имеют обмотку. Обмотка статора двигателя подключается к электрической сети переменного напряжения и считается первичной. Обмотка ротора считается вторичной, так получает электроэнергию от статора за счет создаваемого магнитного потока рисунок 4.2.

При подаче на трехобмоточный статор двигателя трехфазного напряжения от электрической сети переменного тока, происходит возбуждение магнитного поля, оно вращается со скоростью большей, чем скорость, с которой вращается ротор, в $(n_2 < n_1)$. Пересечение линий вращающегося поля статора полем ротора способствует созданию электродвижущей силы (ЭДС). Под воздействием индуцируемой ЭДС, в закороченной роторной обмотке, происходит возникновение электрического тока. Когда происходит взаимодействие электрического тока в роторе машины и магнитного поля статора происходит возникновение крутящего момента, который заставляет двигатель работать (рисунок 4.3).

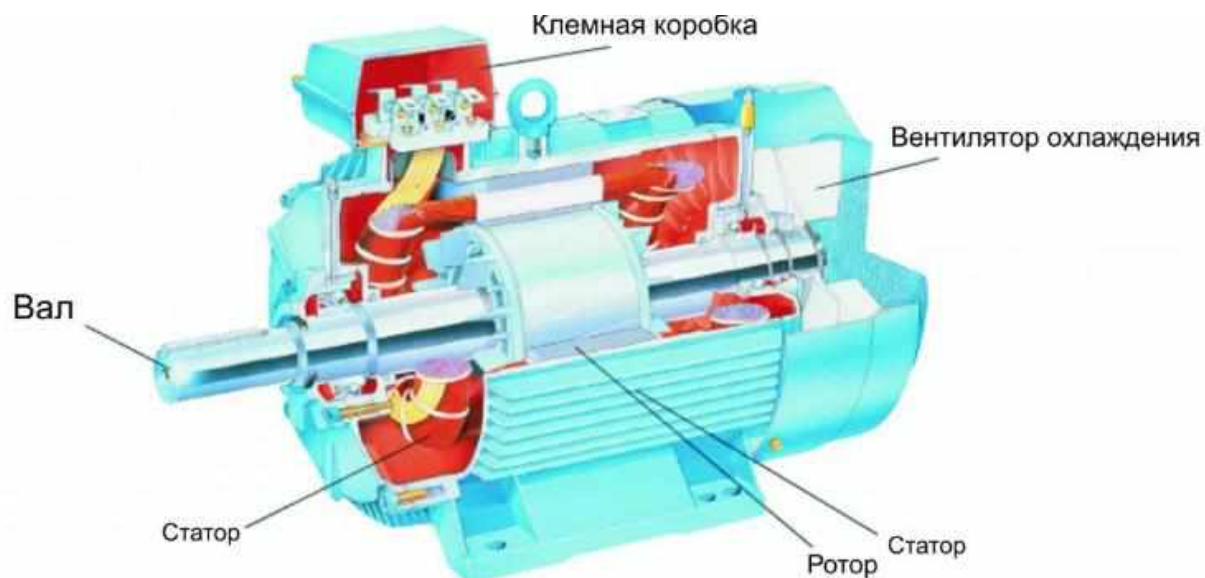


Рисунок 4.2 – Асинхронный двигатель

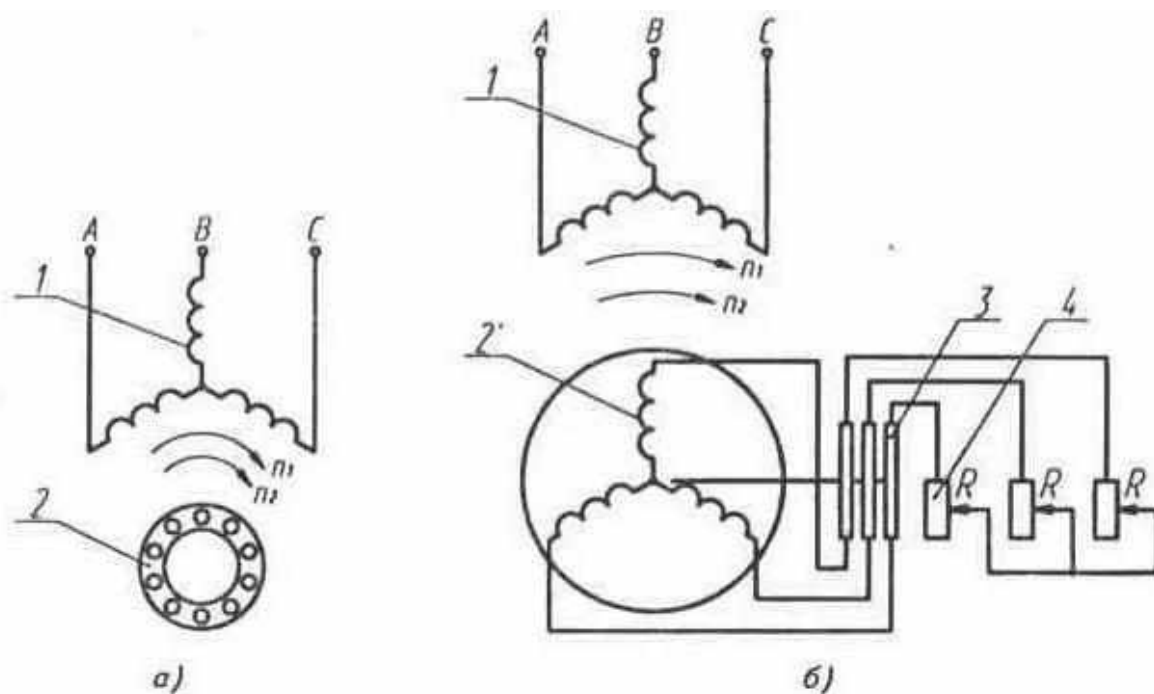


Рисунок 4.3 – Принцип работы асинхронного двигателя

Коллекторные двигатели, как и любой другой, состоит из ротора и статора. В этом случае ротор — является якорем. Напомним, что якорем называется та часть электрической машины, которая потребляет основной ток, и в которой индуцируется электродвижущая сила (рисунок 4.4).

На статоре установлены катушки обмоток независимого, последовательного или смешанного возбуждения, или постоянные магниты (при мощности ДПТ до 20 кВт), а на роторе — обмотка якоря.

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

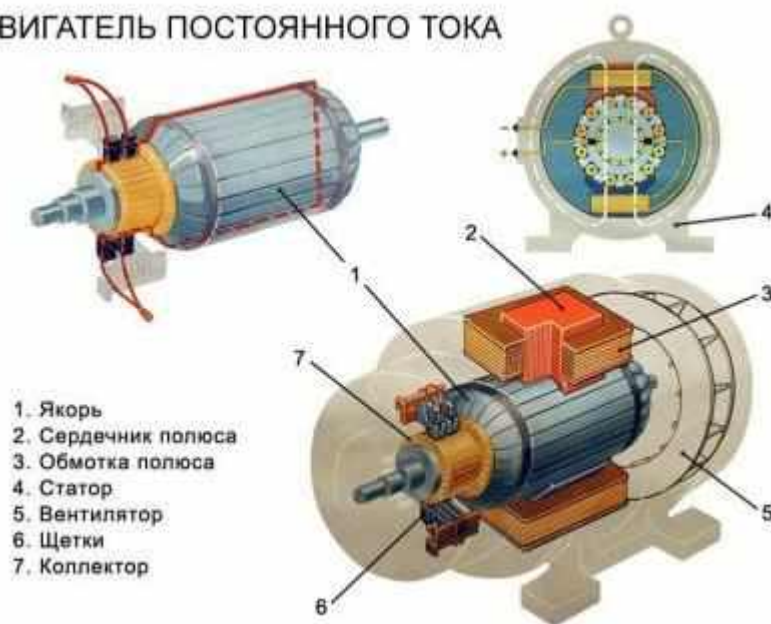


Рисунок 4.4 – Коллекторный двигатель

Коллектор имеет цилиндрическую форму и набран из медных пластин (иногда называют ламелями), которые изолированы друг от друга слюдяными или текстолитовыми прокладками (рисунок 4.5).

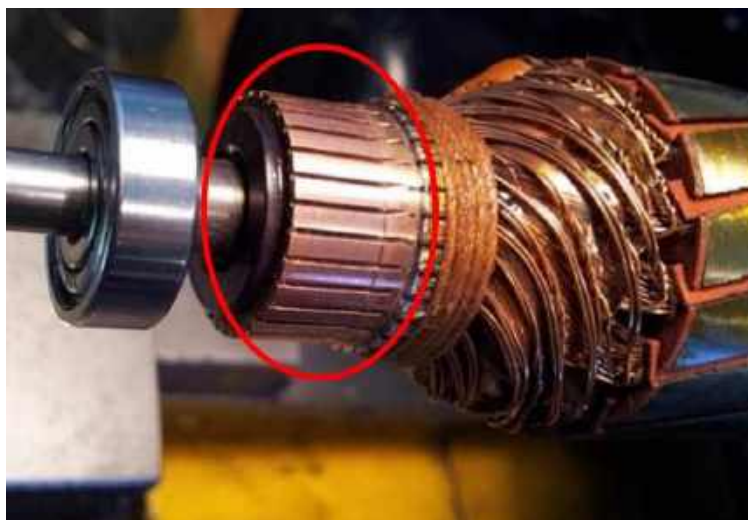


Рисунок 4.5 – Коллектор

К плоскости двух противоположных рамок коллектора прижимается две щетки. Они плотно прилегают к поверхности медной пластины коллектора, что даёт хороший контакт. На эти щётки подаётся потенциал, который и передаётся в тот виток обмотки ротора, который подключён к этим пластинам.

Так как ротор с некоторой скоростью вращается, одна пара пластин сменяется другой. Таким образом, напряжение передаётся на все обмотки ротора. При этом возникающие друг за другом поля поддерживают вращение ротора, «проталкивая» его в нужном направлении.

Синхронные двигатели можно разделить на две большие группы: с одинаковой и разной полюсностью статора и ротора (рисунок 4.6). Давно используемые на практике СД традиционных конструкций относятся к первой группе и состоят из якоря, обычно расположенного на статоре, и индуктора, несущего обмотку возбуждения или постоянные магниты и размещенного на роторе.

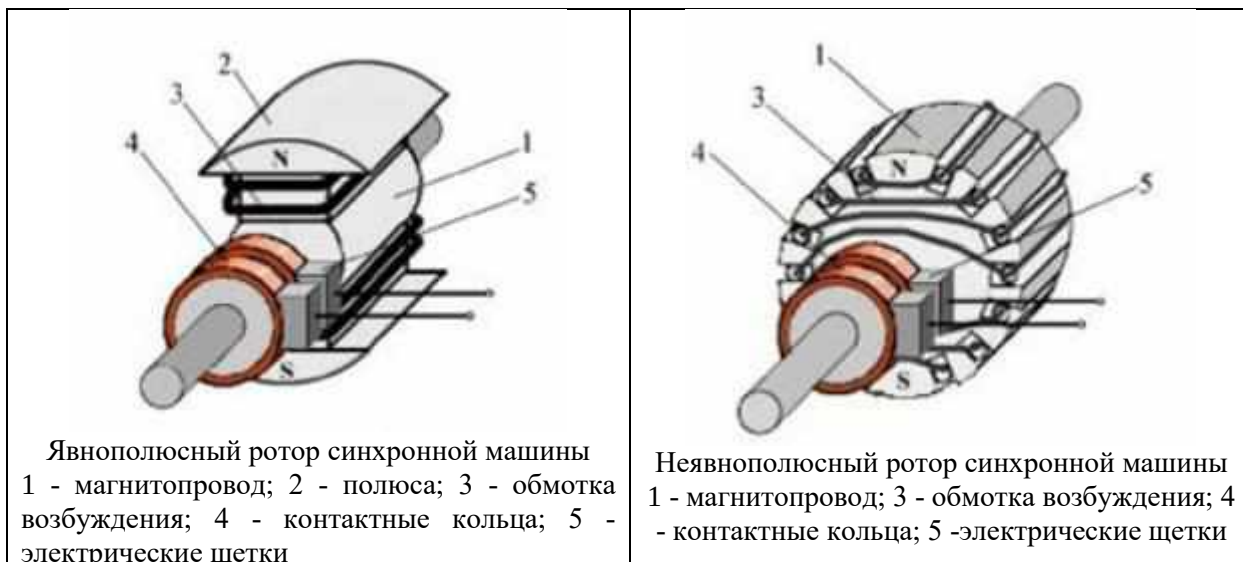


Рисунок 4.6 – Синхронные двигатели

Синхронным называют электродвигатель, у которого скорость вращения ротора (вала) совпадает со скоростью вращения магнитного поля статора

Назначение преобразователей. Обязательным элементом регулируемого электропривода является преобразователь электрической энергии, с помощью которого обеспечивается изменение параметров электрической энергии (напряжения, частоты, числа фаз). Преобразователь включается между обмотками электродвигателя и источником питания.

Целенаправленное изменение скорости или момента на валу ЭД требует регулирования мощности в силовом канале электропривода по величине и направлению, что осуществляется силовыми преобразователями электрической энергии. С помощью этих преобразователей обеспечиваются режимы потребления или генерирования энергии электроприводом.

В режиме потребления электроприводом реализуются следующие типы преобразования ЭЭ:

- преобразование нерегулируемого переменного напряжения (от электрической сети) в постоянное (нерегулируемое или регулируемое);
- преобразование постоянного напряжения в регулируемое по частоте и амплитуде переменное или пульсирующее;
- преобразование нерегулируемого переменного напряжения (от электрической сети) в регулируемое по частоте и амплитуде переменное или пульсирующее;
- преобразование постоянного напряжения в постоянное напряжение (регулируемое или нерегулируемое);

В режиме генерирования электроприводом реализуются следующие типы преобразования ЭЭ:

- преобразование постоянного напряжения в нерегулируемое переменное (электрическая сеть);
- преобразование регулируемого по частоте и амплитуде переменного или пульсирующего напряжения в постоянное;
- преобразование регулируемого по частоте и амплитуде переменного или пульсирующего напряжения в нерегулируемое переменное (электрическая сеть);
- преобразование регулируемого постоянного напряжения в постоянное.

Для выполнения перечисленных режимов применяются электромашинные и статические (полупроводниковые) преобразователи.

Силовые полупроводниковые приборы. Они имеют два состояния: включенное (открытое) — прибор проводит рабочий ток (аналогичен замкнутому контакту); выключенное (закрытое) — прибор не проводит рабочий ток (аналогичен разомкнутому контакту). Эти приборы подразделяются на три основные группы [II]:

- 1) неуправляемые приборы — диоды (diodes) (рисунок 4.7), переход которых из включенного состояния в выключенное осуществляется полярностью приложенного к прибору напряжения силовой цепи;

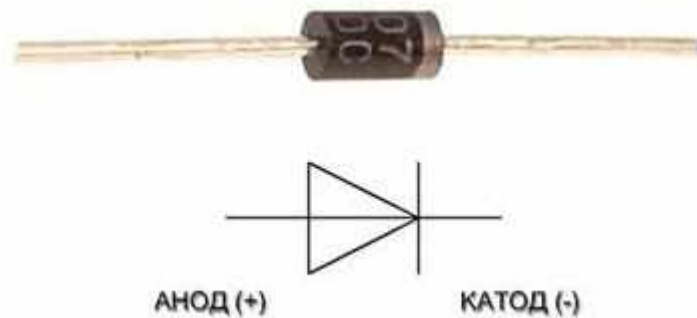


Рисунок 4.7 – Диод

2) не полностью управляемые приборы — тиристоры (thyristors), включение которых проводится сигналом по управляющему электроду, а выключение — обратной полярностью приложенного к прибору напряжения силовой цепи. Основное применение тринисторов (тиристоров с тремя электрическими выводами — анодом, катодом и управляющим электродом) — управление мощной нагрузкой с помощью слабого сигнала, подаваемого на управляющий электрод.;

3) полностью управляемые приборы (ключи), включение и выключение которых выполняются управляющим сигналом. К этой группе относятся биполярные транзисторы (Bipolar junction transistors — BJT), полевые транзисторы (Metal-oxide-semiconductor field effect transistors — MOSFET), биполярные транзисторы с изолированным затвором (Insulated gate bipolar transistors — IGBT), запираемые тиристоры (Gate-turn off thyristors — GTO).

Основные понятия микропроцессорной техники. Контроллер электропривода является специализированной управляющей МПС, которая в значительной степени использует универсальные (типовые) структуры и аппаратные средства МПС общего назначения, ориентированные в основном на эффективное выполнение различного рода вычислений, а в более общем случае — на обработку информации. Специализация в управлении достигается введением специальных периферийных модулей ввода/вывода.

Микропроцессорная система — совокупность процессора, памяти программ, памяти данных и устройств ввода-вывода, объединенных общей системой шин в одно устройство.

Процессор и память образуют так называемое ядро МПС, обеспечивающее реализацию требуемого алгоритма управления, заданного в виде последовательности команд, хранящихся в памяти программ. При выполнении заданного алгоритма процессор осуществляет обработку информации, хранящейся в памяти данных или получаемой от источников внешних сигналов.

Периферийные устройства обеспечивают поддержку типовых операций ввода-вывода, например, прием-передачу данных от внешних устройств в параллельном или последовательном коде, обработку внешних запросов прерываний и т.д.

Процессор (Central Processor Unit — CPU) — устройство, предназначенное для обработки данных и управления этим процессом. Он строится на базе арифметико-логического устройства (АЛУ), способного выполнять арифметические, логические и другие операции над числами, а в общем случае — над произвольными данными (символами, фрагментами видео- и аудиоинформации и т.п.) определенной разрядности (обычно 8...64 двоичных разряда). Данные обрабатываются по программе, считываемой из памяти программ. Текущая команда размещается в регистре команд и интерпретируется с помощью дешифратора команд и устройств синхронизации и управления.

Микропроцессор - процессор, реализованный на одном кристалле в виде большой интегральной схемы (БИС); он является универсальным устройством для программной обработки информации, которое может использоваться в разнообразных применениях.

Архитектура процессора — комплекс его аппаратных и программных средств, предоставляемых пользователю. В это общее понятие входят набор программно-доступных регистров и исполнительных (операционных) устройств, система основных команд и способов адресации, объем и структура адресуемой памяти, виды и способы обработки прерываний программы.

Система команд процессора — совокупность инструкций (кодов команд), выполнение которых поддерживается архитектурой конкретного процессора.

Программа — последовательность инструкций в машинном коде, расположенная в памяти программ, которая с помощью шин адреса, данных и управления может быть последовательно загружена в центральный процессор и выполнена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Колос, 2007. – 252 с.: ил. – 1000 экз.–ISBN 978-5-9532-0540-5
2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]: учебник для вузов /Н.Ф Ильинский. – М.: Изд. МЭИ, 2007. – 221 с.: ил. – 1000 экз.– ISBN 978-5-383-00001-4.
3. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т.IV-2/ Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.

ЛЕКЦИЯ №5 ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Основные свойства электроприводов с двигателями постоянного тока.

Большинство двигателей постоянного тока — это коллекторные машины. Их основными конструктивными элементами являются: станина с закрепленными на ней главными и добавочными полюсами, вращающийся якорь с обмоткой и коллектором, а также щеточный узел. Главные полюсы с обмоткой возбуждения или с постоянными магнитами создают магнитный поток машины, обмотки добавочных полюсов обеспечивают нормальную коммутацию тока якоря.

Управление электроприводом требует регулирования его координат: тока, момента, скорости, ускорения, положения и т.п. Наиболее экономичный способ их регулирования в электроприводе постоянного тока связан с изменением электродвижущей силы (ЭДС) или тока с помощью управляемого преобразователя (УП), питающего якорь двигателя. В качестве УП могут быть использованы электромашинные (генераторы постоянного тока) или полупроводниковые (тиристорные, транзисторные) преобразователи.

Система управляемый преобразователь — двигатель (УП-Д) показана на рисунке 5.1а. Якорь двигателя Я подключен к выходу преобразователя УП, а обмотка возбуждения ОВ получает питание от отдельного источника.

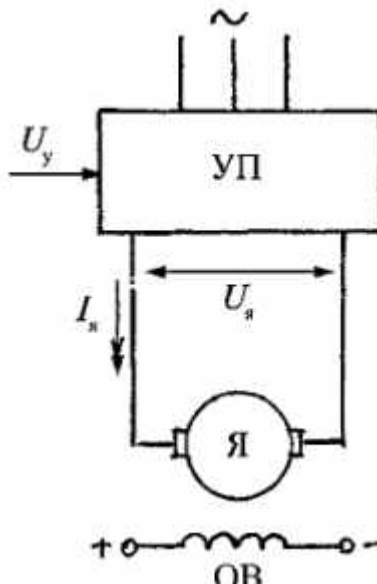


Рисунок 5.1 – Схема включения системы УП-Д

Система УП-Д позволяет осуществить и двухзонное регулирование скорости, при котором в диапазоне значений скорости от $\omega_{\min}$ до $\omega_{\text{ном}}$ (первая зона) скорость регулируется путем изменения ЭДС преобразователя (напряжения U_y), а в диапазоне от $\omega_{\text{ном}}$ до $\omega_{\max}$ (вторая зона) — уменьшением магнитного потока двигателя.

Система генератор-двигатель. В системе генератор—двигатель (Г-Д) в качестве УП используют генератор постоянного тока Г (рисунок 5.2а), который приводится во вращение

двигателем переменного тока Д1 (асинхронным или синхронным). Обмотка возбуждения генератора ОВГ получает питание от дополнительного управляемого источника питания ВГ (возбудителя генератора).

Изменяя ток возбуждения генератора $I_{вг}$ с помощью напряжения управления u_y на входе возбудителя, можно регулировать ЭДС генератора E_g а следовательно, и напряжение U_n . Зависимость $E_g(I_{вг})$ при постоянной скорости генератора ($\omega_g = \text{const}$), которую называют характеристикой холостого хода генератора, показана на рисунке 5.2б.

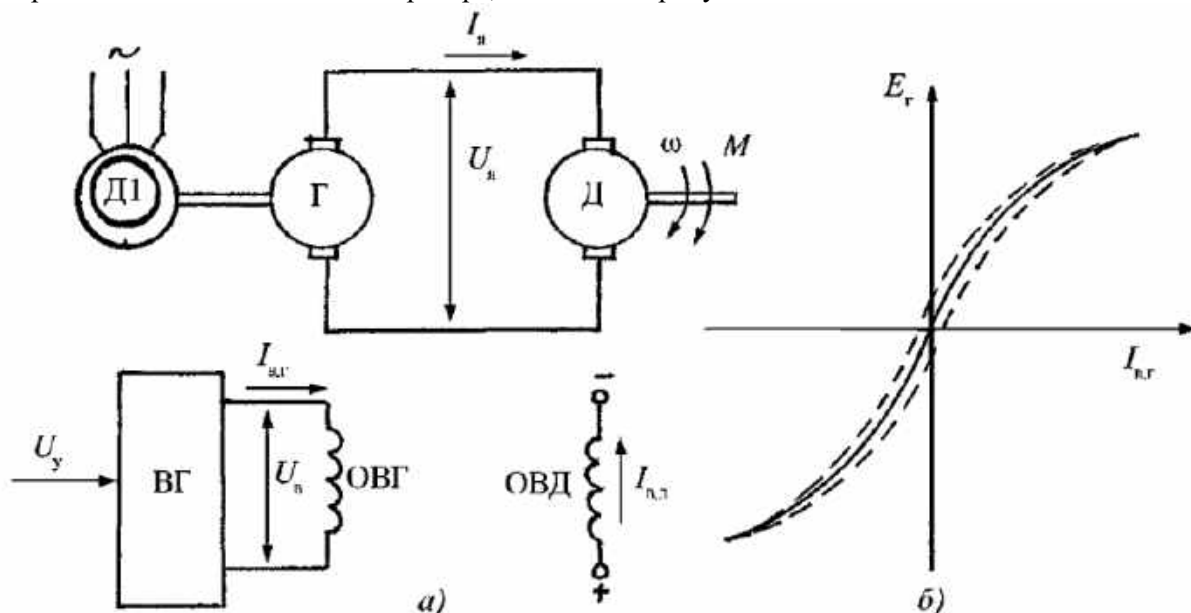


Рисунок 5.2 – Схема включения системы Г-Д

Изменяя ток в обмотке возбуждения двигателя $I_{вд}$, можно регулировать магнитный поток двигателя и тем самым осуществлять двухзонное регулирование скорости.

К достоинствам системы Г-Д следует отнести: сравнительно высокую жесткость и линейность механических характеристик, возможность осуществления всех энергетических режимов работы электропривода, включая и рекуперативное торможение, отсутствие влияния электропривода на форму напряжения питающей сети.

Недостатками системы Г-Д являются: уменьшение КПД системы вследствие двукратного преобразования энергии в преобразователе (сначала из электрической энергии переменного тока в механическую на валу генератора, а затем из механической в электрическую энергию постоянного тока); трехкратная (по отношению к мощности двигателя) суммарная установленная мощность электрических машин и отсюда высокие капитальные затраты и большие габаритные размеры установки; большая инерционность преобразователя.

Система тиристорный преобразователь-двигатель (ТП-Д) относится к числу основных систем регулируемого электропривода постоянного тока. Тиристорные преобразователи выполняются по различным схемам выпрямления и могут иметь один комплект (группу) вентилей или два комплекта (группы), что связано с их односторонней проводимостью.

В нереверсивных электроприводах преобразователь содержит одну группу вентилей; такой преобразователь называют также нереверсивным, так как ток может протекать только в одном направлении.

В реверсивном электроприводе преобразователь состоит из двух групп вентилей. При одном направлении тока работает одна группа, а при другом — другая. Поэтому преобразователь с двумя группами называют реверсивным.

Управление двумя группами вентилей может быть совместным или раздельным. При совместном управлении отпирающие импульсы поступают на обе группы тириستоров, а при раздельном — только на тиристоры работающей группы.

Функциональная схема реверсивного электропривода по системе ТП-Д показана на рисунке 5.3а, где преобразователь ТП состоит из согласующего трансформатора ТС, двух встречно-параллельных вентильных групп ВГ1 и ВГ2 с трехфазной мостовой схемой выпрямления и раздельным управлением группами и системы импульсно-фазового управления (СИФУ).

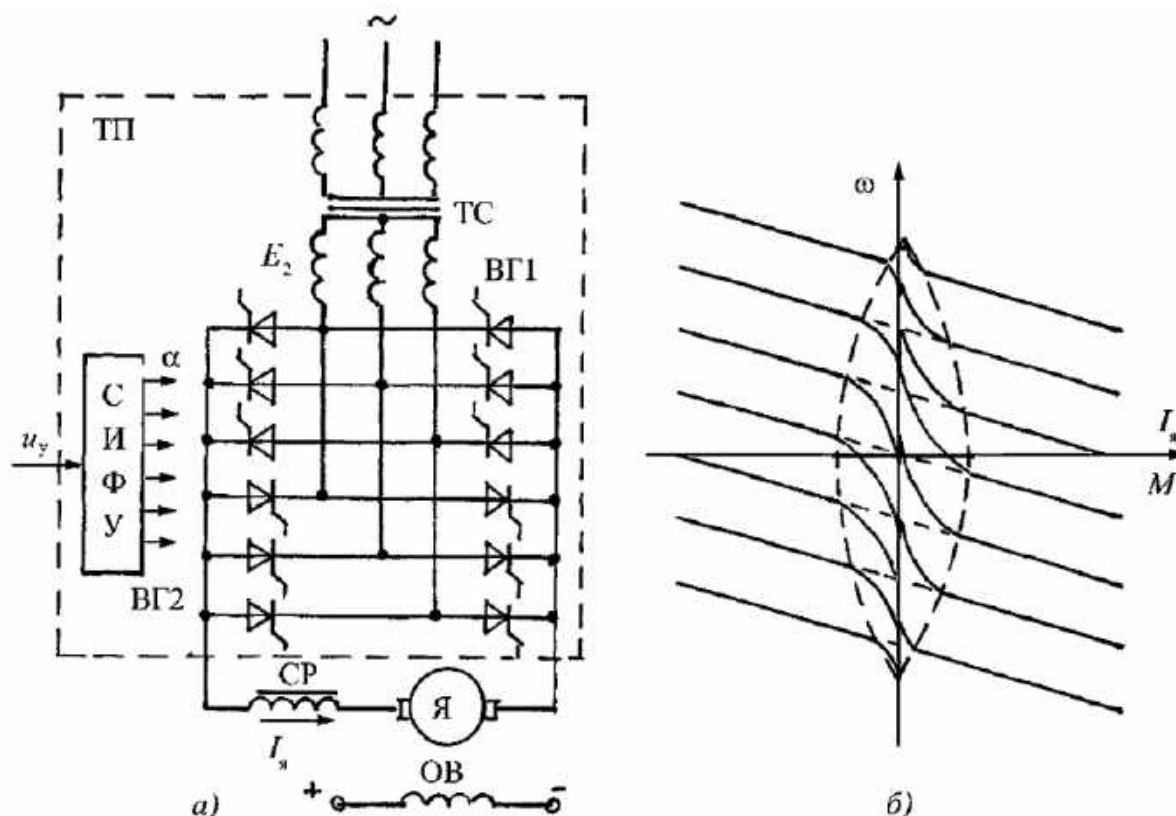


Рисунок 5.3 – Схема включения системы ТП-Д

Трансформатор ТС согласует напряжение питающей сети с номинальным напряжением двигателя, а система импульсно-фазового управления формирует отпирающие импульсы, угол (фаза) которых зависит от напряжения управления u_y на входе преобразователя. Зависимость ЭДС на выходе преобразователя E_n от угла α определяется как:

$$E_n = E_{d0} \cos \alpha$$

где E_{d0} - максимальное значение ЭДС преобразователя.

$$E_{d0} = \sqrt{2} \cdot E_2 \left(\frac{mk_{c.g.}}{\pi} \right) \sin\left(\frac{\pi}{mk_{c.g.}}\right)$$

где E_2 - действующее значение ЭДС вторичной фазной обмотки трансформатора;

m – число фаз источника питания;

$k_{c.g.}$ - тактность схемы выпрямления (для нулевых схем = 1, а для мостовых = 2).

Особенностью системы ТП-Д является наличие двух токовых режимов: непрерывного и прерывистого токов в цепи якоря двигателя.

Достоинствами системы ТП-Д являются: высокий КПД, большее быстродействие по сравнению с системой Г-Д и простота технического обслуживания. К числу недостатков следует отнести: меньшую жесткость механических характеристик по сравнению с системой Г-Д; снижение коэффициента мощности пульсирующий характер выпрямленного напряжения; влияние на форму напряжения сети из-за коммутации вентилях и несинусоидальности потребляемого тока; необходимость применения двух вентильных групп в реверсивном электроприводе.

Несмотря на отмеченные недостатки, система ТП-Д получила наибольшее распространение в электроприводах прокатных станов, металлорежущих станков, экскаваторов и ряде других механизмов.

Система широтно-импульсный преобразователь-двигатель ШИП-Д содержит неуправляемый источник U , полупроводниковые ключи $K_1...K_4$, и двигатель постоянного тока

независимого возбуждения, якорь которого включен в диагональ моста, образованного ключами (рисунок 5.4а).

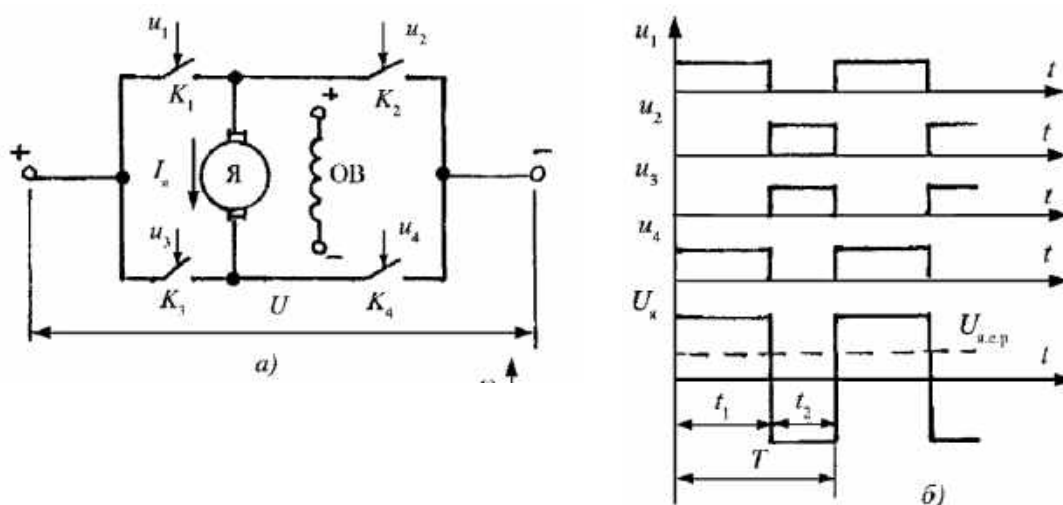


Рисунок 5.4 – Схема включения системы ШИП-Д

При симметричном управлении ключами (рисунок 5.4б), когда с помощью сигналов управления $u_1... u_4$ попеременно открывается (закрывается) пара диаметрально расположенных ключей $K_1 K_4$ или K_2, K_3 .

Достоинствами системы ШИП—Д (по сравнению с системами Г-Д и ТП-Д) являются: более высокие значения КПД и коэффициента мощности, который остается постоянным во всем диапазоне регулирования скорости; большой диапазон регулирования скорости, достигающий значений $D=20...30$; более высокое быстродействие; простота технической реализации как силовой части, так и системы управления.

К числу недостатков промышленных систем ШИП-Д следует отнести ограниченную силовыми полупроводниковыми ключами преобразователя мощность электропривода (<100 кВт). Однако появление управляемых

полевых транзисторов (MOSFET) и биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) большой мощности в совокупности с микропроцессорными системами управления создают условия более широкого распространения систем ШИП-Д в электроприводе.

Система источник тока-двигатель (ИТ—Д). Ряд технологических установок (натяжные устройства, тянущие ролики, моталки, разматыватели и т.п.) требуют регулирования момента на рабочем органе. При постоянном потоке момент двигателя пропорционален току якоря, поэтому регулирование момента двигателя возможно при питании его якорной цепи от регулируемого источника тока.

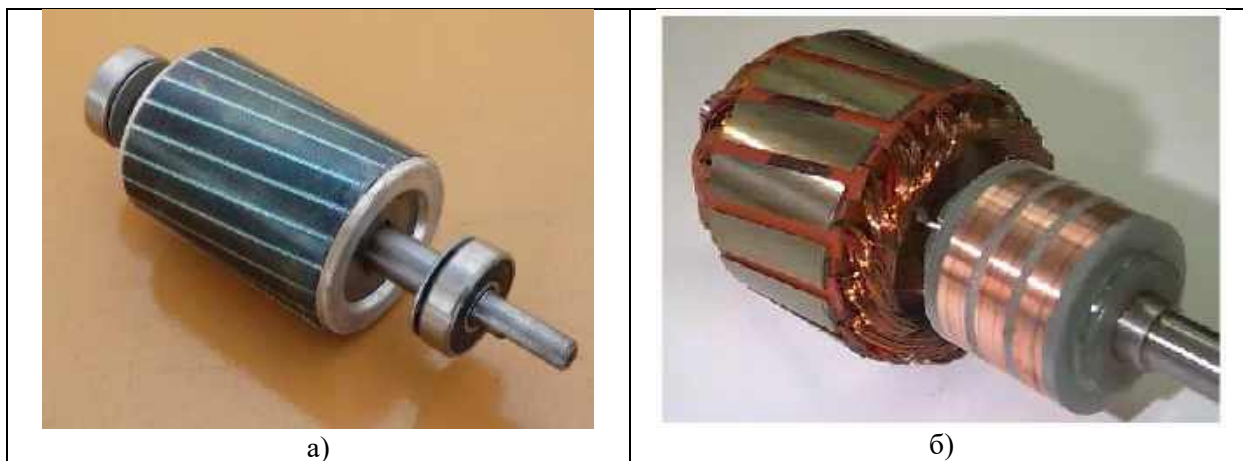
Источником тока является преобразователь, на выходе которого ток всегда постоянен и не зависит ни от сопротивления, ни от ЭДС цепи нагрузки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Колос, 2007. – 252 с.: ил. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0540-5
2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]: учебник для вузов / Н.Ф. Ильинский. – М.: Изд. МЭИ, 2007. – 221 с.: ил. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00001-4.
3. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т.IV-2/ Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.

Главным достоинством АД является простота исполнения ротора, обмотка которого не подключается к каким-либо источникам питания и может быть выполнена короткозамкнутой. При этом асинхронный двигатель становится бесконтактным. Благодаря простоте конструкции, надежности в эксплуатации и относительно низкой стоимости

АД с короткозамкнутым ротором является наиболее распространенным типом двигателя переменного тока (рисунок 6.1).



а) Короткозамкнутый ротор; б) Фазный ротор.

Рисунок 6.1 – Роторы АД

Статические характеристики и энергетические режимы АД. На рисунке 6.2а изображена основная схема подключения АД к сети переменного тока (эту схему иногда называют естественной схемой включения АД).

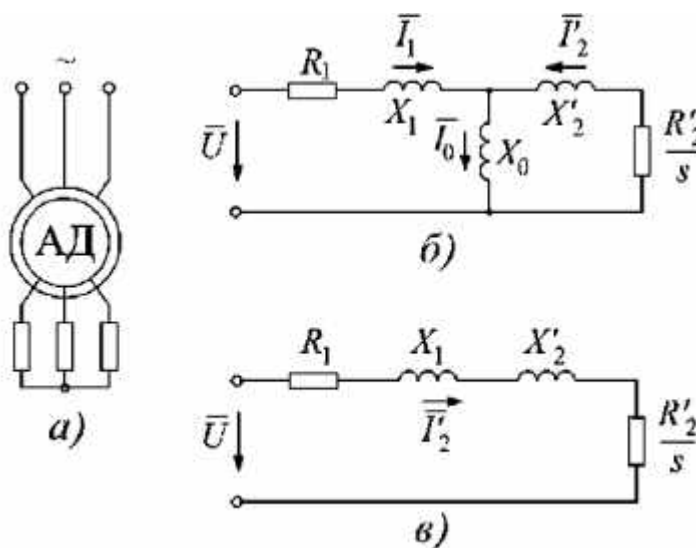


Рисунок 6.2 – Схема подключения АД

Для расчета и анализа различных характеристик часто используют показанные на рисунке 6.2б, в Т-образную и упрощенную схемы замещения АД, с помощью которых можно определить его электрические переменные: токи, мощности и т.д. — в установившихся режимах работы.

При работе АД от статора к ротору вращающимся магнитным полем передается электромагнитная мощность:

$$P_{эм} = M\omega_o, \quad (1)$$

Электромагнитная мощность преобразуется в механическую мощность

$$P_m = M\omega, \quad (2)$$

Электрические потери в цепях ротора и потери в стали ротора, последними из которых можно пренебречь из-за их относительной малости.

$$\Delta P_{эл2} = 3I_2'^2 R_2' \quad (3)$$

Тогда

$$M\omega_0 = M\omega + 3I_2'^2 R_2'$$

Откуда получаем связь между электромагнитным моментом и током ротора в виде

$$M = \frac{3I_2'^2 R_2'}{\omega_0 s} \quad (4)$$

где $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ - скольжение АД.

Записывая далее согласно схеме на рисунке 6.1 выражение для тока ротора.

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (5)$$

Тогда момент будет равен

$$M = \frac{3U_\phi^2}{\omega_0} \frac{\frac{R_2'}{s}}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2} \quad (6)$$

Возможности регулирования координат асинхронного электропривода. Основные способы регулирования скорости АД можно выявить на основе анализа следующих выражений:

$$\omega = \omega_0 - \omega_0 s \quad (7)$$

$$\Delta P_{эл2} = P_{эм} s = M(\omega_0 - \omega) \quad (8)$$

Первое из которых связывает скорость ротора со скоростью вращения магнитного поля и скольжением, а второе — полные электрические потери в роторной цепи (которые часто называют потерями скольжения) с электромагнитной мощностью

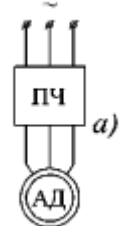
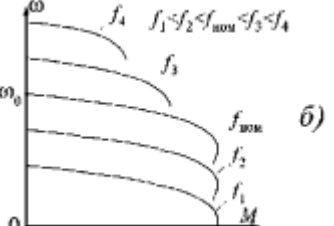
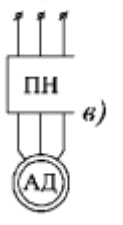
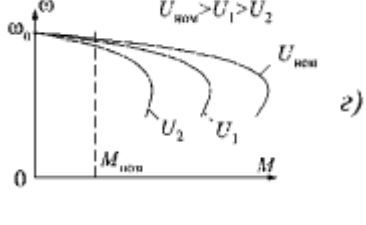
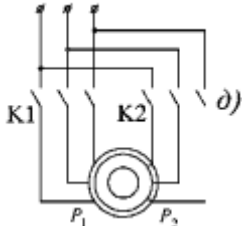
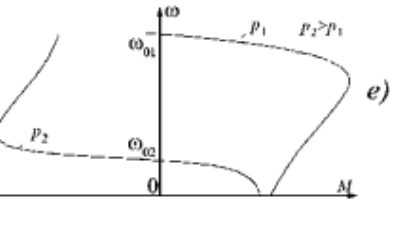
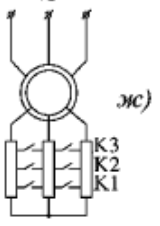
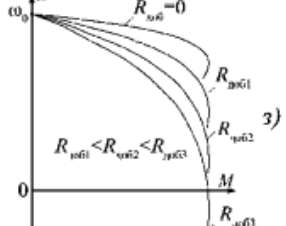
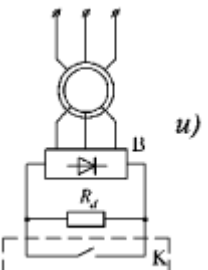
В соответствии с выражением (7) возможны два способа регулирования скорости АД: регулирование скорости поля (которая определяется частотой и числом пар полюсов) и регулирование скольжения при постоянном значении ω_0 (что при заданном моменте согласно зависимости (6) принципиально осуществимо изменением напряжения статора, введением добавочных резисторов или индуктивностей в статорные или роторные цепи АД).

С помощью формулы (8) можно определить потери в роторных цепях и примерно пропорциональные им потери в статорных цепях АД, что позволяет оценить экономичность способов регулирования.

В таблице 6.1 приведены названия, силовые схемы и механические характеристики основных способов регулирования скорости АД.

Таблица 6.1 – Способы регулирования АД

Способ регулирования	Силовая схема	Механические характеристики	Исполнение ротора
----------------------	---------------	-----------------------------	-------------------

Изменение частоты			Короткозамкнутый
Изменение напряжения			
Изменение числа пар полюсов обмотки статора			
Реостатное регулирование			Фазный
Импульсное регулирование роторной цепи			

По технико-экономическим показателям, наиболее совершенным из регулируемых асинхронных электроприводов является электропривод с частотным управлением. Для его осуществления между сетью переменного тока и статором АД включен преобразователь частоты (ПЧ), на выходе которого меняются амплитуда и частота фазных напряжений. Изменение частоты источника питания позволяет плавно регулировать скорость АД в широком диапазоне как выше, так и ниже номинальной.

При любой частоте АД работает в пределах рабочего участка механической характеристики, где скорость близка к синхронной, что, судя по формуле (8), обуславливает небольшие потери в обмотках. Поэтому асинхронный электропривод с частотным управлением очень широко используется на практике.

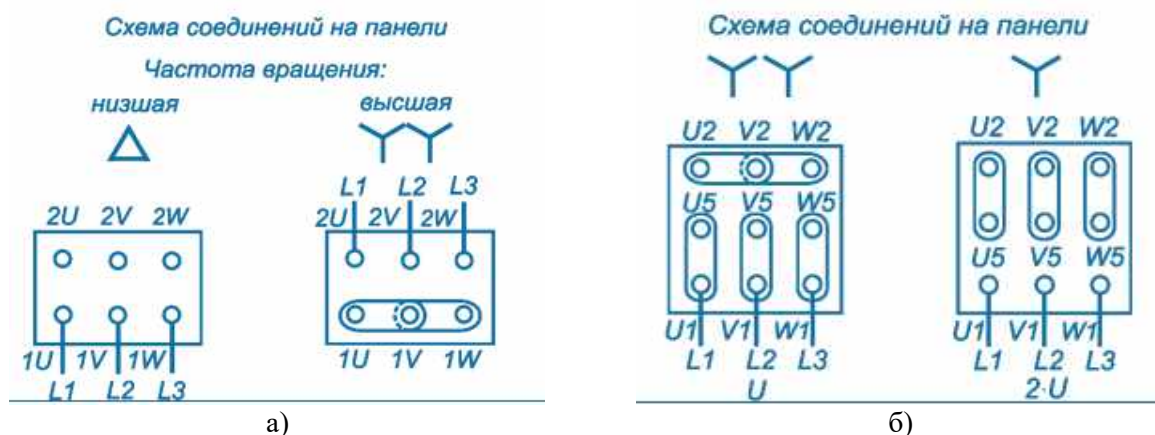
Значительное применение находит система регулируемого электропривода **преобразователь напряжения (ПН)-АД** с короткозамкнутым ротором. При изменении фазного напряжения синхронная скорость ω_0 и критическое скольжение не изменяются, а критический момент изменяется пропорционально квадрату напряжения. Система ПН-АД с короткозамкнутым ротором служит в качестве устройств мягкого пуска и торможения, а также для обеспечения кратковременной работы электропривода на низких скоростях. В качестве ПН используются

тиристорные преобразователи напряжения (ТПН), которые заменили применявшиеся ранее магнитные усилители.

Регулирование скорости изменением числа пар полюсов рт обмотки статора применяется при использовании специальных АД, получивших название многоскоростных. Такие двигатели имеют на статоре либо две обычные независимые обмотки, выполненные на разные числа полюсов, либо одну полюсно-переключаемую обмотку, каждая фаза которой состоит из нескольких частей; при переключении которых изменяется число полюсов. В последнем случае чаще всего обмотка каждой фазы состоит из двух частей, при их согласном включении число пар полюсов в 2 раза больше, чем при встречном.

Наибольшее применение нашли следующие схемы переключения таких обмоток: треугольник-двойная звезда и звезда-двойная звезда (рисунок 6.3). Роторы многоскоростных АД выполняются с короткозамкнутой обмоткой.

Двухскоростные АД с независимыми обмотками, изготовленными на разные числа пар полюсов p_1 и p_2 и подключаемыми к сети с помощью ключей K_1 и K_2 , получили значительное распространение в электроприводах лифтовых и крановых механизмов. Для таких механизмов перспективно использование электропривода по системе ТПН-двухскоростной АД.



1u, 1v, 1w – начало первой, второй, третьей фазы соответственно; 2u, 2v, 2w – конец первой, второй, третьей фазы соответственно; L1, L2, L3 – контакты для подключения сети.

а) треугольник-двойная звезда, б) звезда-двойная звезда

Рисунок 6.3 – Схемы подключения АД

Для АД с фазным ротором неплохо зарекомендовали себя способы регулирования, при реализации которых в роторную цепь АД вводят силовые элементы (резисторы, преобразователи), расширяющие функциональные возможности электроприводов.

Наиболее простым из этих способов является реостатное регулирование, которое осуществляется путем изменения сопротивлений резисторов, включенных в роторные цепи АД, и широко применяется на практике. При включении симметричных сопротивлений в цепи ротора возрастает критическое скольжение, а критический момент остается неизменным. Введение добавочных сопротивлений в цепь ротора при пуске и торможении противовключением позволяет уменьшить токи в обмотках и увеличить момент АД. При наличии добавочных сопротивлений часть потерь скольжения выделяется не в обмотке ротора, а вне двигателя в добавочных резисторах, что облегчает тепловой режим АД.

Достоинства реостатного регулирования — простота реализации, возможность ограничения токов на уровне номинальных значений в широком диапазоне скоростей; недостатки — значительные потери энергии в добавочных резисторах, ступенчатое регулирование скорости, снижение жесткости механических характеристик при больших добавочных резисторах (что может вызвать существенные изменения скорости при разных моментах нагрузки).

Реостатное регулирование используется для электроприводов мощностью до 100... 150 кВт, работающих в повторно-кратковременных режимах (например, для крановых механизмов). или для пуска АД с фазным ротором при большей мощности.

Недостаток рассмотренного реостатного регулирования, связанный со ступенчатым регулированием скорости, можно устранить способом импульсного регулирования координат.

Наибольшее применение нашли схемы с импульсным регулированием в цепи выпрямленного тока ротора, в которых подключенный к ротору неуправляемый трехфазный мостовой выпрямитель В соединен с резистором R_d , периодически шунтируемым бесконтактным ключом К. При замыкании ключа резистор R_d шунтируется, а при размыкании он вводится в цепь выпрямленного тока ротора. При этом достигается эффект плавного регулирования активного сопротивления в роторной цепи.

Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока. В преобразователях частоты с промежуточным звеном постоянного тока напряжение питающей сети подается через выпрямитель и фильтр на инвертор. Инвертор, управляемый от микропроцессорной системы управления, формирует напряжение на выходе преобразователя в соответствии с принятым законом регулирования.

Инвёртор — устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Обычно представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Работа инвертора

Высоковольтные преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока.

Необходимость применения специальных инверторов для высокого напряжения вызывают следующие факторы:

- отсутствие ключей на высокое напряжение (>1700 В) и токи с высокой частотой коммутации, необходимой для формирования напряжения методом ШИМ, используемой в трехфазных мостовых инверторах;
- применение трехфазного мостового инвертора с увеличением напряжения приводит к увеличению производных напряжения по времени, что сказывается на требованиях к изоляции двигателя, увеличивает межвитковые емкостные токи, ограничивает длину кабеля, соединяющего преобразователь и нагрузку, и требует дорогих выходных фильтров;
- простое последовательное соединение ключей с целью повышения рабочего напряжения прибора неэффективно, так как даже при малом разбросе параметров один из ключей будет открываться и закрываться быстрее, а другой медленнее. Это приводит к тому, что в моменты коммутаций в стойке остается только один ключ на полное напряжение вместо положенных двух в статическом режиме. Поэтому надежность таких схем соединения ключей крайне низкая.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фролов, Ю.М. Основы электрического привода [Текст]: учебник для вузов / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Колос, 2007. – 252 с.: ил. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9532-0540-5
2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода [Текст]: учебник для вузов / Н.Ф. Ильинский. – М.: Изд. МЭИ, 2007. – 221 с.: ил. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00001-4.
3. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Электроприводы. Т.IV-2/ Л.Б. Масандилов, Ю.Н. Сергиевский, С.К. Козырев и др.; под общ. ред. Л.Б. Масандилова, 2012. 520 с.

Любой объект, в котором используется газообразное вещество, можно отнести к газовым системам. Поскольку наиболее доступным газом является воздух, состоящий из смеси множества газов, то его широкое применение для выполнения различных процессов обусловлено самой природой. В переводе с греческого *pneumatikos* - воздушный, чем и объясняется этимологическое происхождение названия пневматические системы. В технической литературе часто используется более краткий термин - пневматика.

Пневматическим устройством называют устройство, в котором используются физические свойства сжатого воздуха (в общем случае - газа) как энергоносителя.

Пневмопривод - это комплекс (совокупность) устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством пневматической энергии, т.е. энергии сжатого газа.

Пневмопривод делится на:

- магистральный;
- аккумуляторный;
- компрессорный [6]. Структурные схемы пневмопривода приведены на рисунке 7.1

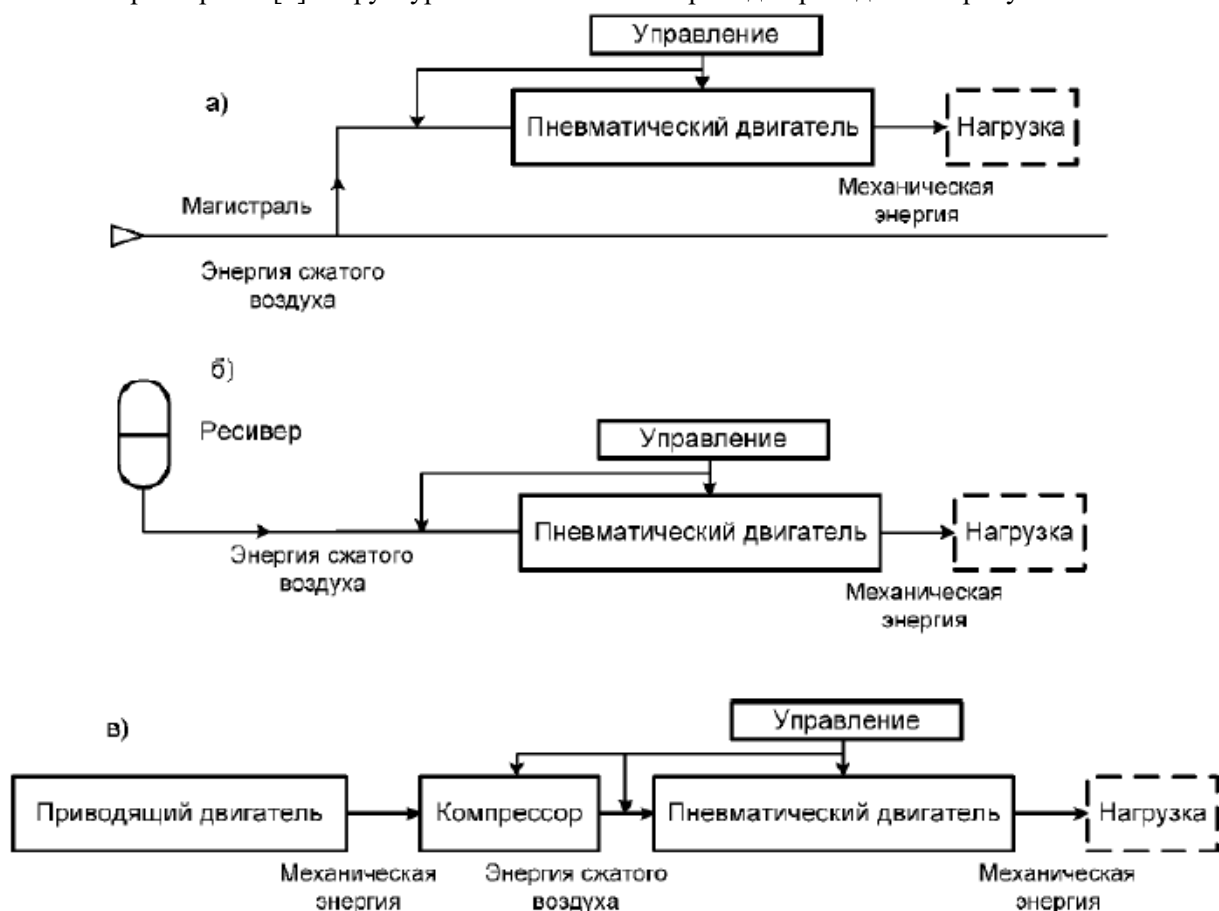


Рисунок 7.1 – Классификация пневматических систем

Пневматические системы широко используются во многих технических устройствах и аппаратах: в паровоздушных молотах и воздушных выключателях высокого напряжения, системы надува и кондиционирования в авиационной и ракетно - космической технике. Пневматические приводы получили широкое применение при автоматизации производственных процессов в аэрокосмической и автомобильной промышленности, в общем машиностроении и станкостроении, в транспортном и полиграфическом машиностроении, в литейном и кузнечном производстве, работающих в агрессивных средах, в условиях пожаро - и взрывоопасности, радиации, а также при значительной вибрации и высоких температурах, в нефтяной, газовой, химической промышленности, в горном деле, в строительстве, в медицинских приборах (для искусственного дыхания, кровообращения, инъекций и т.д.)

В состав пневмоприводов входят:

1. **Исполнительные устройства** (двигатели), - предназначены для преобразования энергии сжатого воздуха в механическую энергию движения рабочих органов машины, которые выполняют заданную технологическую операцию.

2. **Распределительное устройство**, предназначенное для направления потоков воздуха из магистрали в рабочие цилиндры исполнительных устройств и из рабочих цилиндров в атмосферу.

3. **Управляющие устройства**, предназначенные для обеспечения последовательности перемещения рабочих органов машин, соответствующих устройств, называют также системой управления. Система управления в общем случае может состоять из пневматических, гидравлических, электрических и комбинированных устройств управления.

В зависимости от структуры исполнительных устройств различают пневмоприводы:

- поршневые;
- мембранные (рисунок 7.11);

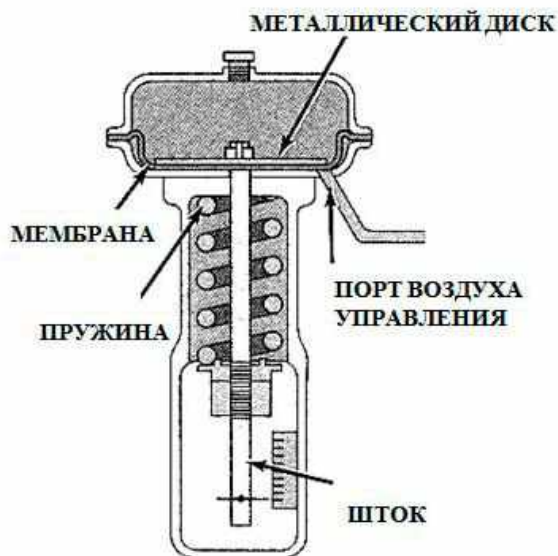


Рисунок 7.11 – мембранный исполнительный механизм

1. Давление вводится в механизм;
2. Мембрана прогибается вверх, сжимая пружину и поднимая шток;
3. Шток движется пропорционально величине давления воздуха, приложенного к исполнительному механизму через порт ввода давления.

- сифонные; рисунок 7.12. В сифонных исполнительных механизмах перестановочное усилие в одном направлении создается давлением сжатого воздуха в рабочей полости, а в обратном направлении - силой упругости сиффона или сиффона и пружины.

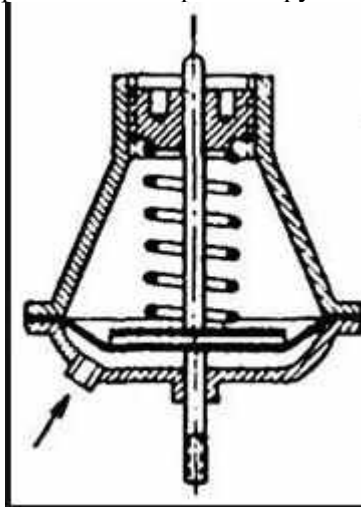


Рисунок 7.12 – Сиффон

- пневмомоторы, комбинированные.

Различают также приводы дискретного и непрерывного действия. Типовые приводы в зависимости от видов входящих в них исполнительных устройств разделяются на односторонние и двусторонние.

Односторонним пневмоустройством называют устройство, в одну полость которого в период работы подается (или из которого вытекает) сжатый воздух, при этом вторая полость соединена с полостью постоянного давления (магистралью или атмосферой).

Двусторонним пневмоустройством называют устройство, в обе полости которого попеременно подается сжатый воздух, вследствие чего рабочий орган совершает возвратно - поступательное движение. Как односторонние, так и двусторонние устройства разделяют на устройство с начальным перепадом давления воздуха на поршне и без него. Примером первого устройства может служить дифференциальное устройство, у которого начальный период работы в одной полости поддерживается магистральное давление p_m , а во второй - атмосферное p_a , т.е. имеет место начальный перепад давлений на поршне.

Под магистральным давлением p_m будем понимать постоянное давление сжатого воздуха на входе рабочий цилиндр из напорной линии (магистрали). Если давление с обеих сторон поршня является атмосферным, то в таком устройстве перепад давлений в начале его работы отсутствует. Примерами таких устройств могут служить односторонние устройства с возвратной пружиной, подъемники, зажимные устройства и др.

Пневматический привод состоит из двух взаимосвязанных частей:

- силовой, в которой осуществляются энергетические процессы;
- управляющей, в которой протекают информационные процессы (рисунок 7.2).

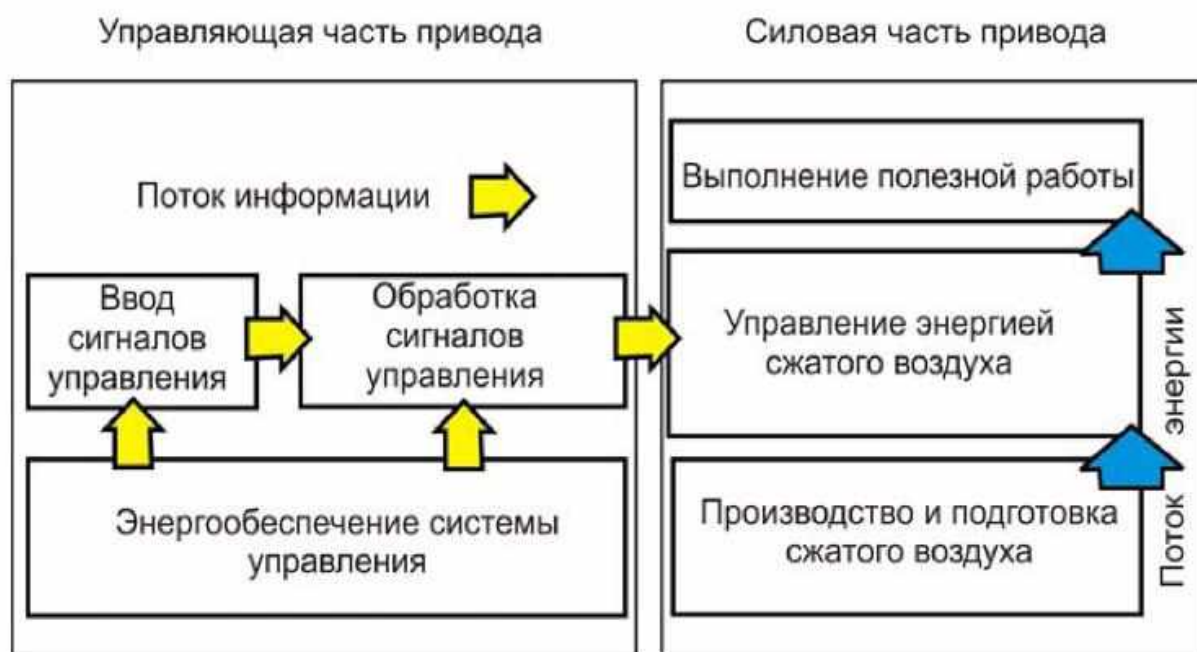


Рисунок 7.2 – Структура пневматического привода

Структура силовой части:

1. Энергообеспечивающая подсистема - устройства для производства и подготовки сжатого воздуха (компрессоры, фильтры, устройства осушки, ресиверы и т.д.).

2. Направляющая и регулирующая подсистема - предназначена для регулирования давления и расхода, распределения и направления потоков сжатого воздуха, что осуществляется посредством клапанов давления, дросселей, распределителей и других элементов.

3. Исполнительная подсистема - осуществляет выполнение полезной работы - выполнение различных рабочих перемещений или создания усилий в машинах, станках и технологических установках (пневмоцилиндры, пневмомоторы, захваты и т.д.).

В простейших приводах функции управления остаются за человеком. Тогда структура привода принимает вид, показанный на рисунке 7.3

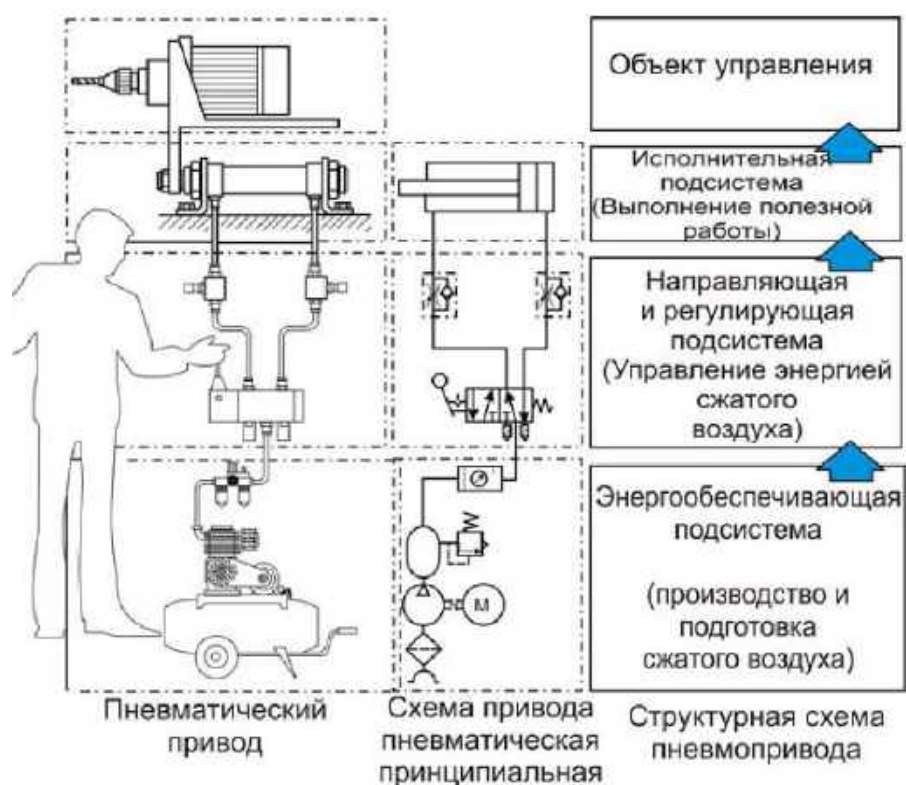


Рисунок 7.3 – Структура пневматического привода с ручным управлением

Если силовая и управляющая часть выполнены на пневматической элементной базе - то это пневматическая система управления (рисунок 7.4), которая может не иметь своей собственной подсистемы энергообеспечения для управляющей части.

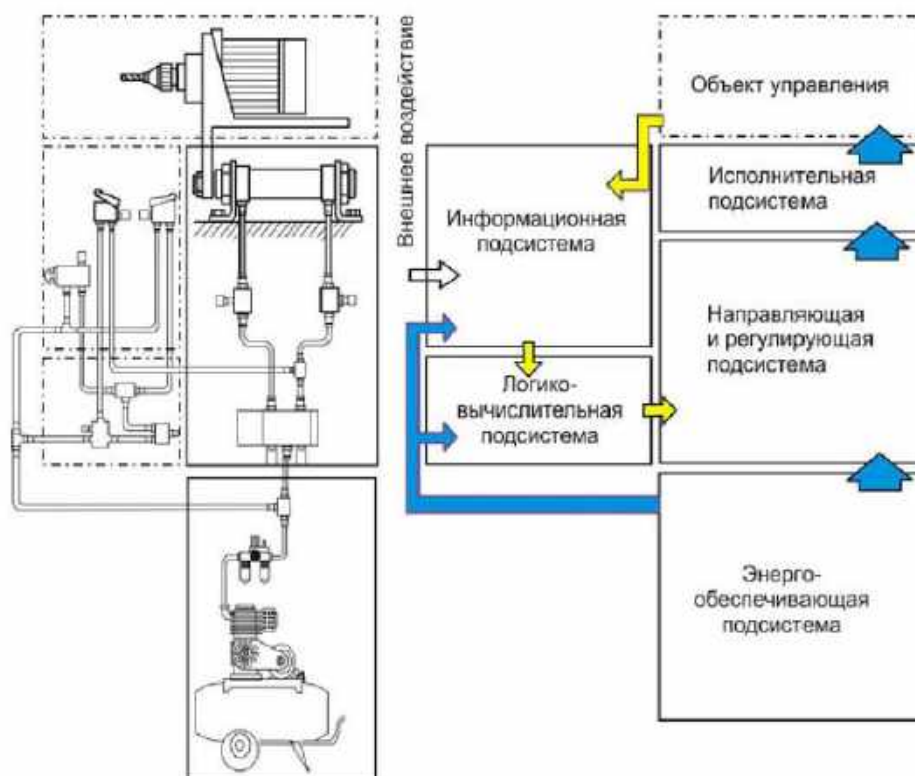


Рисунок 7.4 – Структура пневматического привода с автоматическим управлением

В системах автоматического управления сигналы передаются по замкнутому контуру. При этом реализуется основной принцип построения САУ, который заключается в применении обратной связи, обеспечивающей передачу информации об изменении со стояния объекта управления (или, как в нашем случае, - о состоянии исполнительного механизма) в систему управления.

Типичные требования, предъявляемые к пневмоприводам:

- отсутствие в газах механических примесей в виде пыли и других твердых частиц;
- минимальное присутствие в газе влаги (кроме специальных случаев);
- отсутствие в газах примесей масла;
- газы, выдаваемые потребителям, должны иметь строго заданные параметры по давлению, температуре, влажности;
- вероятность безотказной работы должна быть в зависимости от области применения до 0,99 - 0,999;
- пневмоприводы должны быть рассчитаны на работу в определенных температурных условиях.

Так, например, для всех узлов и агрегатов ракет и космических летательных аппаратов из перечисленных требований основными являются надежность и малая масса.

Надежность - свойство агрегатов выполнять все функции в заданных условиях эксплуатации (рабочие температуры, давление, возможные атмосферные воздействия, перегрузки, вибрации и т. д.). Требование надежности подчиняет себе все другие факторы, характеризующие конструкцию: массу, технологичность, экономичность, прочность и т. д. Надежность работы агрегата определяется его принципиальной схемой и закладывается на этапе проектирования (схемная надежность). Необходимо стремиться к сокращению количества деталей, особенно движущихся, что дает возможность уменьшить вероятность заедания, заклинивания, появления надиров и других дефектов. Удовлетворение перечисленных требований достигается конструктивной схемой агрегатов, тщательной экспериментальной их отработкой, а также технологией изготовления и комплексом испытаний. Точность работы агрегата - допуск на определяющий параметр. Так, если для данного агрегата определяющим является давление срабатывания, то задается допуск на давление; если время срабатывания - то допуск на время и т. д. Точность работы задается на основе расчетов и анализа системы, в состав которой входит агрегат. Потребление малых мощностей позволяет уменьшить массу источников питания.

Кроме перечисленных требований, к пневмоприводам, в зависимости от их назначения, могут предъявляться различные специфические требования: по конструктивному исполнению составных частей системы, работоспособности в условиях вибрации и перегрузок, автоматизации выполняемых операций и т.д.

В некоторых случаях недопустимы утечки газа в окружающее пространство и невозможно применение воздуха из-за его окислительных свойств. Примеры таких систем можно найти в криогенной технике, где в качестве энергоносителя используются агрессивные, токсичные газы или летучие жидкости (аммиак, пропан, сероводород, гелий, водород, фреоны и др.).

Основная конструкция пневмопривода включает в себя 3 подсистемы

- подсистема подготовки сжатого воздуха;
- исполнительная подсистема;
- регулирующая подсистема.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Шахматов Е. В. Пневмопривод и средства автоматики: учеб. пособие / Н.Д. Быстров, А.А. Пголкин, В.Н. Плюхни, С.А. Петренко, Е.В.Шахматов - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2006. - 112 с. : ил.

2. Беляев Н.М., Уваров Е.И., Степанчук Ю.М. Пнеumoгидравлические системы. Расчет и проектирование: Учеб. пособие для технических вузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 271с.

ЛЕКЦИЯ №8 ПОДСИСТЕМА ПОДГОТОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Воздух в системах пневмоавтоматики является энергоносителем и носителем сигналов информации.

Поэтому качество воздуха в значительной степени определяет надежность работы систем пневмоавтоматики. В промышленности для систем пневмоавтоматики приняты 3 диапазона давления питания:

- низкий (0,0012-0,005 МПа);
- нормальный (0,118-0,175 МПа);
- высокий (0,4-1 МПа).

Давление низкого диапазона применяют для питания мембранных вычислительных приборов низкого давления, а также устройств струйной пневмоавтоматики.

Для питания основных управляющих и регулирующих мембранных приборов пневмоавтоматики, которыми в настоящее время оснащено большинство предприятий, используют давления нормального диапазона.

Высокое давление применяется для питания поршней и мембран исполнительных устройств.

Использование низкого давления для питания вычислительных устройств обусловлено тем, что при низких давлениях легко могут быть получены линейные сопротивления.

Отличия в потреблении мощности еще разительнее. Воздух, питающий пневматические устройства при давлении нормальных и высоких диапазонов, подвержен значительному сжатию. Так, например, если давление воздуха увеличивается с 98 до 236 Па, а затем воздух охлаждается до прежней температуры, то абсолютная влажность увеличивается в 2,4 раза. Если при этом относительная влажность станет $>100\%$, то из воздуха выпадает конденсат. Конденсат на деталях вызывает их коррозию, а если температура отрицательная, то могут возникать ледяные пробки, препятствующие

поступлению воздуха. Конденсат также вызывает примерзание подвижных деталей.

Поэтому в системе подготовки воздуха для устройств, работающих при нормальном и высоком рабочем давлении и при температуре ниже нуля, должно быть предусмотрено устройство для осушки воздуха (дегидратор). Воздух следует осушать до такой влажности, чтобы точка росы была ниже температуры среды, окружающей пневматические устройства.

Таким образом, в источник питания сжатым воздухом должны входить:

- компрессор;
- фильтр для очистки воздуха от пыли;
- маслораспылитель;
- устройства осушки и охлаждения сжатого воздуха;
- ресивер - емкость для создания резервного запаса воздуха.

8.1 КОМПРЕССОРЫ

По физическому принципу работы различают компрессоры объемного и динамического типов.

В объемных компрессорах, работающих по принципу вытеснения, воздух замыкают в рабочей камере и затем уменьшают ее объем, после чего рабочая камера соединяется с отводящим (нагнетательным) трубопроводом.

В динамических компрессорах воздух поступает на рабочий орган, сообщаящий ему кинетическую энергию, которая на выходе компрессора преобразуется в потенциальную.

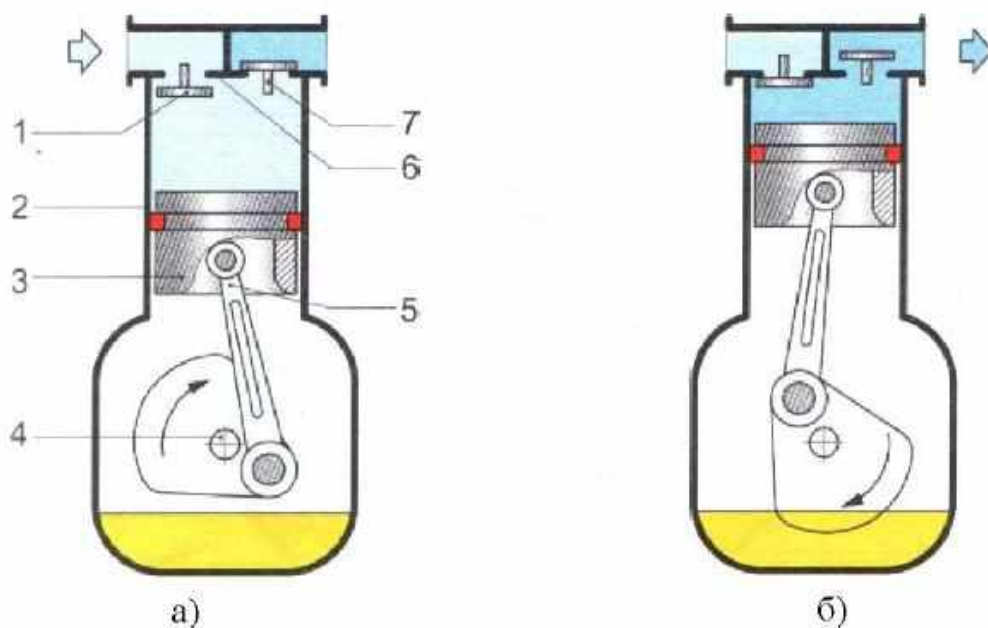
Для получения высоких давлений при небольшой производительности используют компрессоры объемного типа (исключая компрессоры Рутса), а для получения больших расходов при относительно малом давлении - компрессоры динамического типа.

Объемные компрессоры

Наиболее широкое применение находят поршневые компрессоры.

Существует множество типов поршневых компрессоров. Они бывают простого и двойного действия, одноступенчатые и многоступенчатые, одноцилиндровые и многоцилиндровые, с воздушным и водяным охлаждением.

Основными деталями поршневого компрессора простого действия (рисунок 8.1) являются: цилиндр 2 с нагнетательным 7 и всасывающим 1 клапанами в крышке 6; поршень 3; кривошипношатунный механизм 5, преобразующий вращательное движение приводного вала 4 в возвратно-поступательное движение поршня.



1 - всасывающий клапан; 2 - цилиндр; 3 - поршень; 4 - приводной вал;
5 - кривошипно-шатунный механизм; 6 - крышка; 7 - нагнетательный клапан.

Рисунок 8.1 – Компрессор поршневой

Для увеличения производительности иногда применяют поршневые компрессоры двойного действия.

Производительность компрессора двойного действия практически в два раза выше производительности компрессора традиционной конструкции при одинаковых объемах рабочих камер.

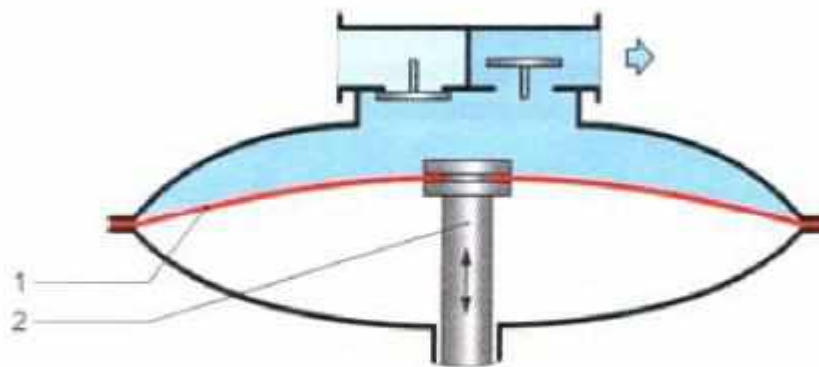
Одноступенчатые компрессоры позволяют получить сжатый воздух с избыточным давлением до 1,3 МПа (13 бар), а развиваемая ими производительность достигает 20 тыс. м³/ч.

Поршневые компрессоры подают воздух в нагнетательный трубопровод неравномерно, отдельными порциями. Степень неравномерности увеличивается еще и вследствие того, что скорость движения поршня не постоянная, а изменяется по синусоидальному закону. Для сглаживания неравномерности подачи воздуха, а, следовательно, и пульсаций давления в линии нагнетания, применяют многопоршневые компрессоры, ходы поршней которых сдвинуты по фазе.

Если источником сжатого воздуха служит поршневой компрессор, поршни которого подвергаются смазке, то в воздухе, поступающем в пневмоустройства, будут находиться пары масла.

Масляные пары отрицательно влияют на работу пневматических приборов, а в результате длительного действия могут полностью вывести их из строя. Масло, осаждаясь на внутренних поверхностях пневматических устройств, не только засоряет дросселирующие органы, но и разрушает немаслостойкие резиновые мембраны.

Сжатый воздух, не содержащий паров масла, можно получить без применения маслоудерживающих фильтров при помощи **мембранного компрессора** (рисунок 8.2).



1 - мембрана; 2 - шток.

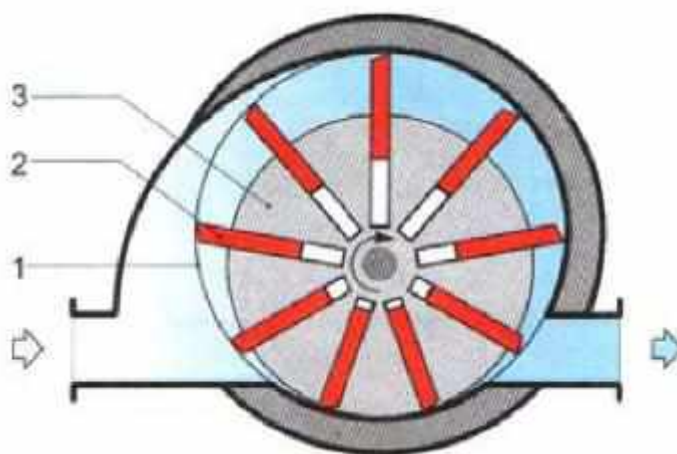
Рисунок 8.2 – Мембранный компрессор

В мембранном компрессоре процесс получения сжатого воздуха происходит в принципе так же, как и в поршневом, с той лишь разницей, что в нем подвижный поршень заменен жесткозакрепленной гибкой мембраной 1. Замкнутый объем изменяется за счет деформации мембраны при возвратнопоступательном движении штока 2.

Давление воздуха в мембранных компрессорах ограничено прочностными характеристиками мембраны и не превышает 0,3 МПа.

Основной недостаток мембранных компрессоров - необходимость периодической смены мембраны по причине выхода ее из строя.

Ротационные компрессоры, как и поршневые, работают с принудительным выталкиванием сжатого воздуха, однако в их конструкции отсутствуют клапаны и кривошипно-шатунный механизм. На рисунке 8.3 изображен ротационный пластинчатый компрессор.

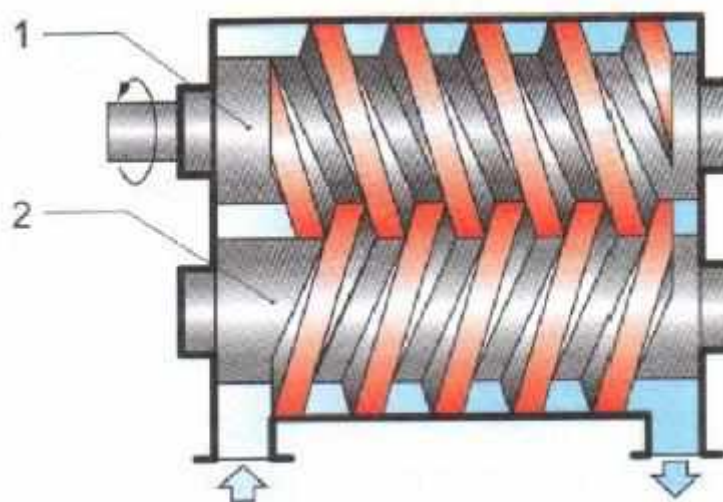


1 - цилиндрический статор; 2 - подвижные пластины; 3 - ротор.

Рисунок 8.3 – Пластинчатый компрессор

В машинах такого типа вследствие эксцентричного расположения ротора 3 в цилиндрическом статоре 1 между ними образуется серповидная полость. В радиальных пазах ротора 3 размещены подвижные пластины 2, которые под действием центробежной силы при вращении ротора выдвигаются из пазов и плотно прижимаются к внутренней цилиндрической поверхности статора 1 (часто применяют еще и дополнительный принудительный поджим пластин при помощи пружин либо путем подведения к торцам пластин сжатого воздуха от линии нагнетания). Вращающиеся пластины делят пространство между ротором и статором на рабочие камеры, объем которых меняется по мере вращения ротора.

Основные элементы конструкции винтового компрессора - два находящихся в зацеплении винта (рисунок 8.4): ведущий 1 и ведомый 2. При вращении винтов их винтовые линии, взаимно замыкаясь, отсекают некоторый объем воздуха в камере всасывания, перемещают его вдоль оси винтов и в конечном итоге вытесняют в камеру нагнетания. Воздух через компрессор движется поступательно и плавно, без завихрения, как гайка по резьбе при вращении винта.

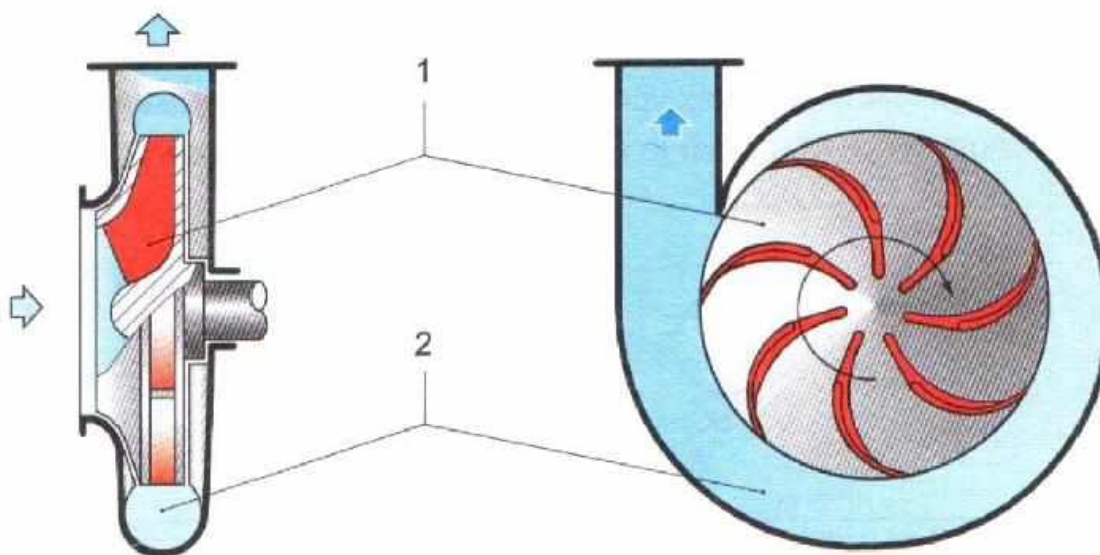


1 - ведущий винт; 2 - ведомый винт

Рисунок 8.4 – винтовой компрессор

8.1.1 ДИНАМИЧЕСКИЕ КОМПРЕССОРЫ

В центробежных компрессорах (турбокомпрессорах) основным элементом конструкции служит расположенное в спиральном отводе 2 рабочее колесо 1, представляющее собой диск со специально спрофилированными лопатками (рисунок 8.5).



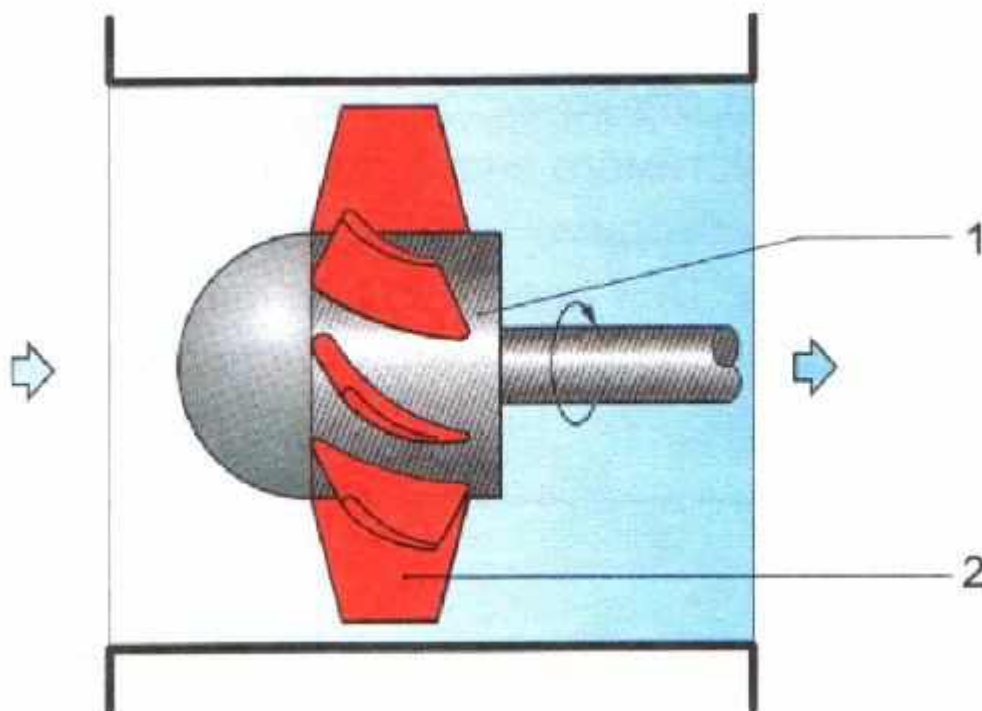
1 - рабочее колесо; 2 - спиральный отвод

Рисунок 8.5 – Центробежный компрессор

Всасываемый воздух поступает в осевом направлении к центру колеса. При вращении ротора лопатки раскручивают воздух и одновременно вовлекают его в относительное движение по образованным ими каналам. Под действием центробежной силы воздух движется от центра к периферии. Таким образом, потоку воздуха сообщается кинетическая энергия, которая при

протекании его по специально спрофилированным направляющим и отводящим устройствам преобразуется в энергию давления

Основное преимущество компрессоров этого типа - большая производительность (до 400 тыс. м³/ч). Это же преимущество характерно и для осевых компрессоров (рисунок 8.6).



1 - вращающийся ротор; 2 - рабочие лопатки

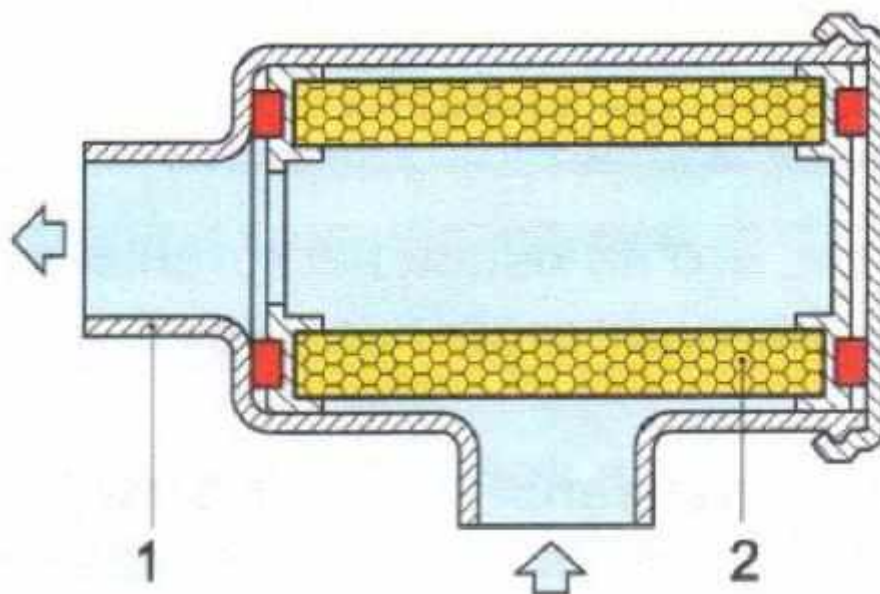
Рисунок 8.6 – Осевой компрессор

Поток воздуха в них имеет осевое направление. Основным конструктивным элементом - вращающийся ротор 1, на поверхности которого укреплены рабочие лопатки 2. Осевые компрессоры развивают давление воздуха до 0,4 МПа, а их производительность достигает значений более 50 тыс. м³/ч.

8.2 УСТРОЙСТВО ОЧИСТКИ И ОСУШКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Для обеспечения надежности и безотказной работы пневматических систем в целом и каждого из их элементов в отдельности необходим очищенный воздух. Загрязнители типа пыли, окалины, ржавчины, а также такие жидкостные составляющие, как конденсат и компрессорные масла, резко снижают показатели безотказности элементов пневматических систем, приводят к нарушению технологических процессов. Вследствие загрязнения сжатого воздуха износ конструкций увеличивается в 2 - 7 раз, а число их выходов из строя по этой же причине составляет до 80% общего числа отказов.

Твердые загрязнители. Для очистки воздуха от механических включений применяют фильтры. Как правило, приемный фильтр имеет корпус 1, в котором располагается собственно фильтрующий элемент 2, выполненный в виде сменного стакана (рисунок 8.7)



1 - корпус; 2 - фильтрующий элемент

Рисунок 8.7 – Фильтрующий элемент

В качестве материалов для фильтрующих элементов применяют бумагу, фетр, поролон, целлюлозную вату, пористую керамику, металлокерамику, металлические сетки и др.

Размеры частиц, задерживаемых фильтром, зависят от геометрических размеров ячеек фильтрующего материала и колеблются в зависимости от предъявляемых к сжатому воздуху требований: максимальный размер составляет 80 мкм и более, минимальный - 0,5 мкм.

8.3 УСТРОЙСТВА ОСУШКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА.

В зависимости от требований к степени осушки воздуха для конкретных потребителей применяют различные устройства осушки (рисунок 8.8):

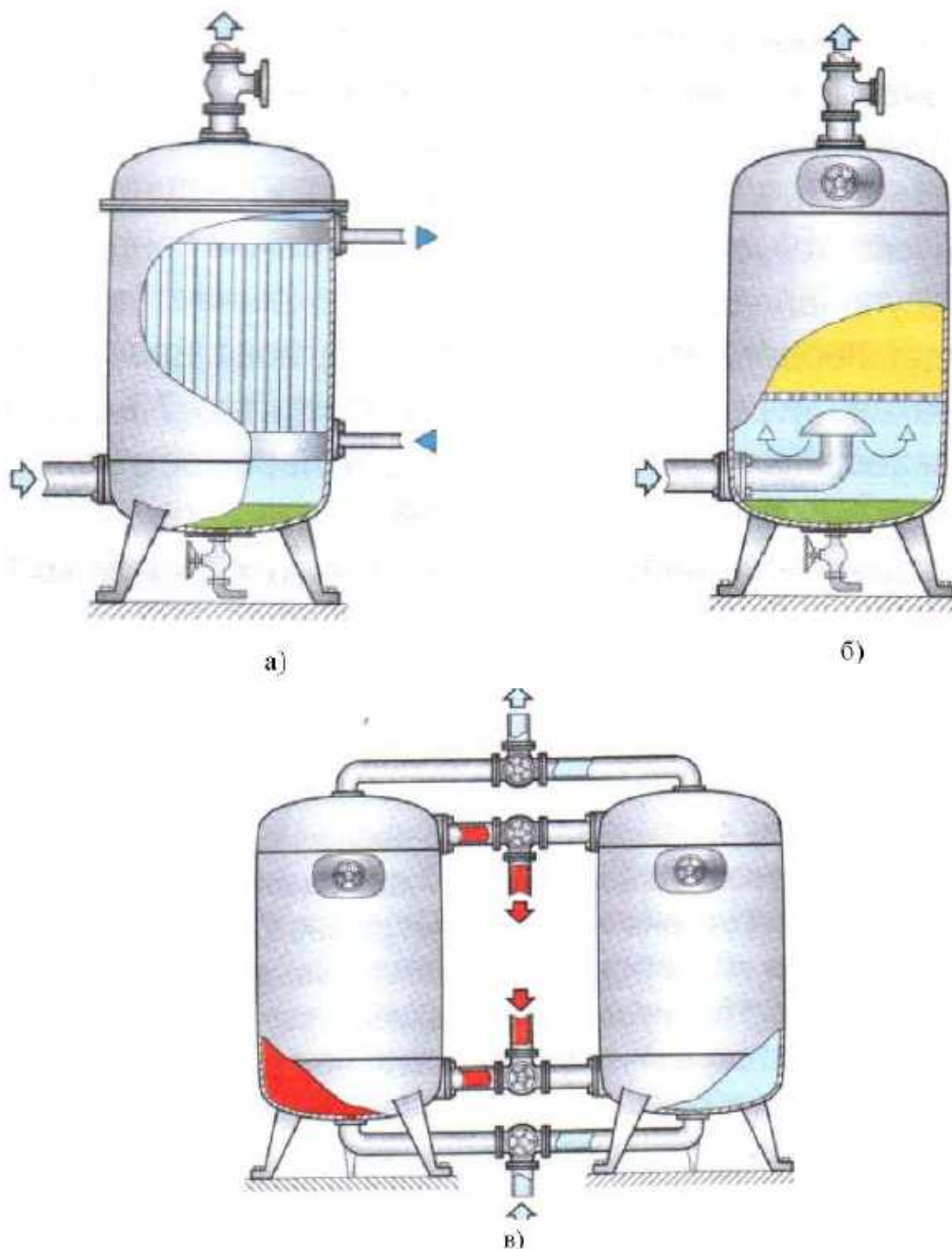
- а) рефрижераторные;
- б) абсорбционные;
- г) адсорбционные.

Получить сжатый воздух с точкой росы 2-7° С позволяют рефрижераторные установки (рисунок 8.8а). Воздух пропускают через резервуар с охлаждающим радиатором, по которому циркулирует хладагент (фреон, аммиак и т.д.). Осушка воздуха осуществляется посредством принудительной конденсации на радиаторе. Конденсат, собираемый в нижней части установки, должен периодически удаляться из нее путем присоединения к дренажной системе.

В абсорбционных осушителях (рисунок 8.8б) воздух поступает снизу в резервуар, заполненный специальным абсорбирующим (поглощающим, химически связывающим влагу) веществом - флюсом, и выходит из верхней части резервуара.

Соединение флюса и воды в желеобразном состоянии стекает в нижнюю часть установки и регулярно должно удаляться из нее. Со временем флюс расходуется и его приходится заменять новым.

Это приводит к неудобствам в обслуживании и является недостатком подобного технического решения. Тем не менее способ абсорбционной осушки характеризуется простотой установки, небольшим механическим износом, отсутствием расхода внешней энергии. После абсорбционной осушки точки росы сжатого воздуха понижаются до - 10° С.



а) рефрижераторные установки; б) абсорбционный осушитель;
в) адсорбционные осушители

Рисунок 8.8 - Устройства осушки сжатого воздуха

При необходимости более глубокой осушки сжатого воздуха применяют адсорбционные осушители (рисунок 8.8в), позволяющие снизить точку росы до -70°C . В качестве осушающих веществ в них используют адсорбенты - вещества, осаждающие влагу на своей поверхности (активированный уголь, активный оксид алюминия - алюмогель, силикагель и т.д.). Адсорбенты способны восстанавливать свои влагопоглощающие свойства после регенерации, заключающейся в их принудительной осушке, например с помощью теплого воздуха. В состав установки входят два параллельно установленных адсорбера. Система кранов на трубопроводах позволяет подключать установку таким образом, что в то время, когда один адсорбер работает в режиме осушки воздуха, другой находится в режиме регенерации.

8.4 РЕСИВЕРЫ

Выравнивание колебаний в сети расходовании сжатого воздуха и создание резервного запаса воздуха осуществляются путем использования специальных емкостей - ресиверов. Объем ресивера

выбирают в зависимости от режима работы компрессорной установки, и величина его должна составлять не менее половины объема воздуха, всасываемого компрессором в течение одной минуты.

Отбор сжатого воздуха из ресивера в систему осуществляется из верхней его части, т.к. в нижней со временем скапливается конденсат. Для отвода применяют устройства автоматического или ручного слива. Ресиверы больших объемов снабжают люками для периодической очистки внутренних поверхностей от загрязнений.

Аккумулирование энергии сжатого воздуха в ресивере позволяет периодически отключать компрессор от пневмосети (переводить в режим разгрузки), либо вообще временно его выключать. Обычно это делается автоматически, когда давление в ресивере достигает значения, на которое настроен установленный на нем электрический датчик давления.

8.5 БЛОКИ ПОДГОТОВКИ ВОЗДУХА

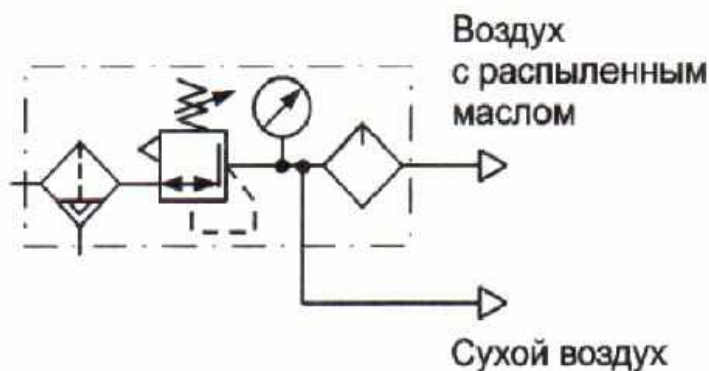
Для обеспечения стабильного уровня давления и окончательной подготовки сжатого воздуха непосредственно у потребителя устанавливают блоки подготовки сжатого воздуха.

Блок подготовки сжатого воздуха (рисунок 8.9) - это совокупность устройств кондиционирования воздуха, которые должны располагаться на каждой автономной машине или на каждом механизме в составе сложного технологического оборудования, потребляющего сжатый воздух. В зависимости от конструктивного исполнения пневмоэлементов, входящих в конкретный пневмопривод, состав и количество устройств, составляющих блок подготовки воздуха, может быть различным. Но в любую конструкцию входят базовые элементы:

- 1) фильтр - влагоотделитель (возможно с автоматическим отводом конденсата);
- 2) редукционный клапан;
- 3) маслораспылитель.



а)



б)

а - общий вид; б - обозначение на пневмосхемах

Рисунок 8.9 - Блок подготовки воздуха с модулем отвода

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Шахматов Е. В. Пневмопривод и средства автоматики: учеб. пособие / Н.Д. Быстров, А.А. Поголкин, В.Н. Плюхны, С.А. Петренко, Е.В.Шахматов - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2006. - 112 с. : ил.

2. Беляев Н.М., Уваров Е.И., Степанчук Ю.М. Пневмогидравлические системы. Расчет и проектирование: Учеб. пособие для технических вузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 271с.

ЛЕКЦИЯ №9 ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА

Воздействие системы автоматического управления (САУ) непосредственно на какой-либо технологический объект осуществляется исполнительными механизмами, которые и составляют исполнительную подсистему САУ. Энергия сжатого воздуха преобразуется в механическую энергию исполнительных механизмов при воздействии на их рабочие органы, которыми могут служить поршень, лопатка или мембрана. Очевидно, что при этом усилие, развиваемое исполнительным механизмом, пропорционально давлению в нем, а скорость движения выходного звена определяется расходом сжатого воздуха.

Исполнительные механизмы могут выполнять следующие виды движения:

- вращательное;
- поворотное (в ограниченном угловом диапазоне);
- линейное (возвратно-поступательное);

И соответственно, исполнительные механизмы подразделяются на три основных типа:

- пневмодвигатели вращательного действия - пневматические моторы;
- поворотные пневмодвигатели;
- линейные пневмодвигатели - пневматические цилиндры.

В отдельную группу можно выделить специальные пневматические исполнительные механизмы, такие как вакуумные захваты, цанговые зажимы и т.п.

9.1 ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

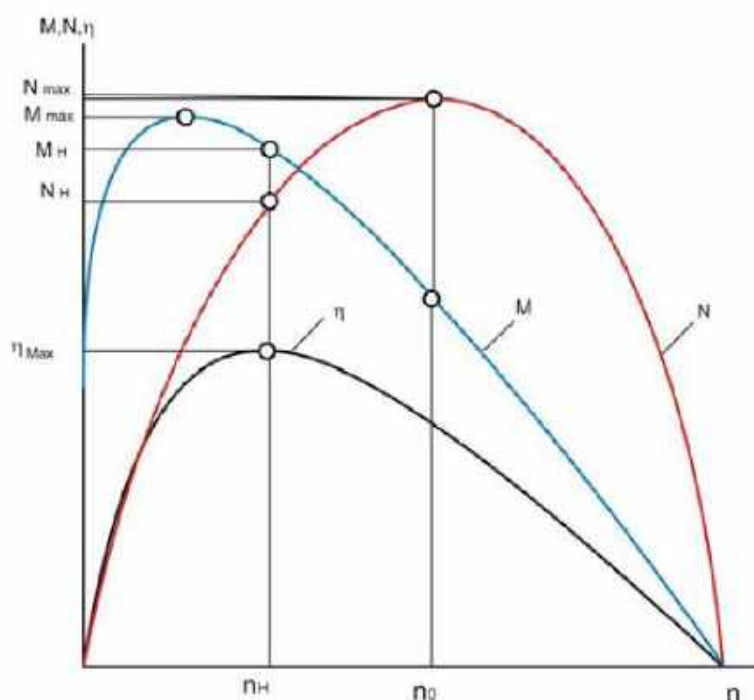
Как приводы различных машин и механизмов широко применяются во многих отраслях промышленности, что объясняется их конструктивными и эксплуатационными особенностями, делающими их в ряде случаев незаменимыми.

Наибольшее распространение получили пневматические двигатели сравнительно малой мощности (до 2 кВт), применяемые главным образом как приводы ручных механизированных инструментов.

В настоящее время серийно изготавливают в основном пневмодвигатели следующих типов: шестеренные, поршневые, ротационные и турбинные. Каждый из этих типов двигателей в соответствии с их характеристиками имеет определенную область применения.

Пневмодвигатели вращательного действия или пневмомоторы предназначены для преобразования потенциальной энергии сжатого воздуха в механическую работу и обеспечивают неограниченное вращательное движение выходного вала.

При эксплуатации пневмомоторов существенное значение имеет такой установившийся режим, при котором достигается максимальная производительность машины. Этому режиму соответствуют статические характеристики крутящего момента M , мощности N и общего КПД η , определяемые теоретически или экспериментально при постоянной частоте вращения n (рисунок 9.1).



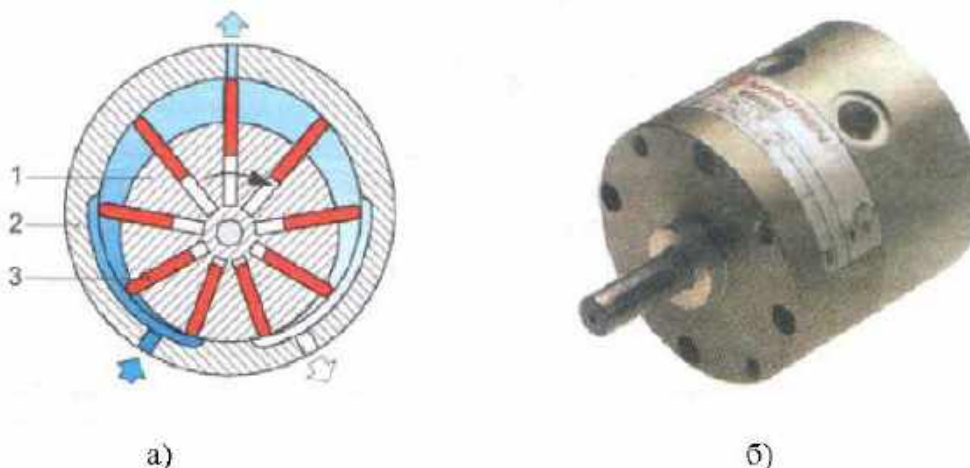
М- крутящий момент; N - мощность; η - общий КПД; n -частота вращения

Рисунок 9.1 - Основные рабочие характеристики пневмомоторов:

Как видно на рисунке 9.1, мощность пневмомотора достигает максимального значения N_{max} при частоте вращения $n_0 \sim 0,5n_{xx}$ (где n_{xx} - частота вращения при холостом ходе).

Крутящий момент имеет наибольшее значение M_{max} при частоте вращения близкой к нулю.

Принципиальная конструктивная схема шиберного (пластинчатого) пневмомотора (рисунок 9.2) практически не отличается от ранее рассмотренной конструктивной схемы пластинчатого компрессора.



а) конструктивная схема, б) внешний вид; 1 - ротор; 2 - статор;
3 – пластина

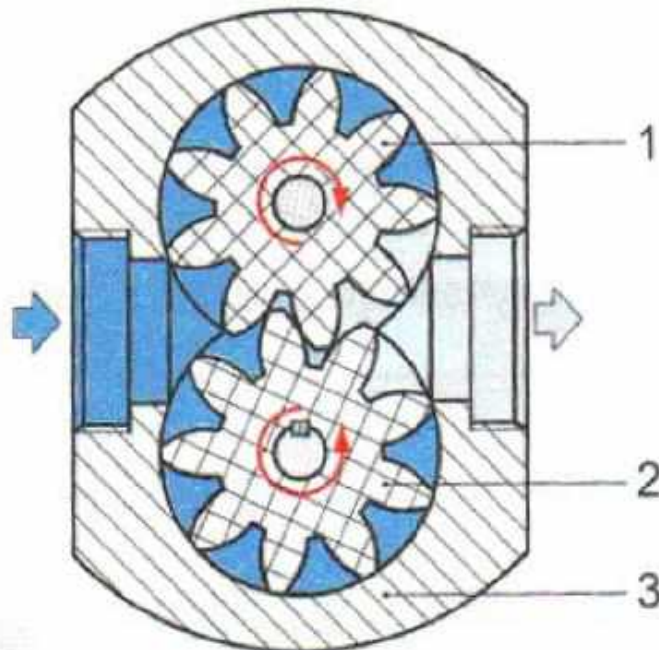
Рисунок 9.2 - Пластинчатый пневмомотор

От числа пластин шиберного пневмомотора зависят его коэффициент полезного действия (КПД), условия пуска и быстрота разгона (приемистость), а также равномерность вращения.

Стандартные конструкции имеют 3-5 пластин, в специальных случаях их число увеличивается до 10. Выпускаются как реверсивные, так и нереверсивные пластинчатые пневмомоторы.

К недостаткам шиберных пневмомоторов относят необходимость обильной смазки и невысокую герметичность рабочих камер, что приводит к возникновению утечек, к снижению КПД. Диапазон мощностей пластинчатых пневмомоторов составляет 0,05 - 20кВт, диапазон частот вращения - 30 - 20000 об/мин.

В корпусе 3 шестеренного пневмомотора расположены две находящиеся в зацеплении шестерни 1 и 2 (зубчатые колеса), причем одна из них закреплена на выходном валу или выполнена заодно с ним, а другая свободно вращается на опорах, установленных в корпусе (рисунок 9.3).

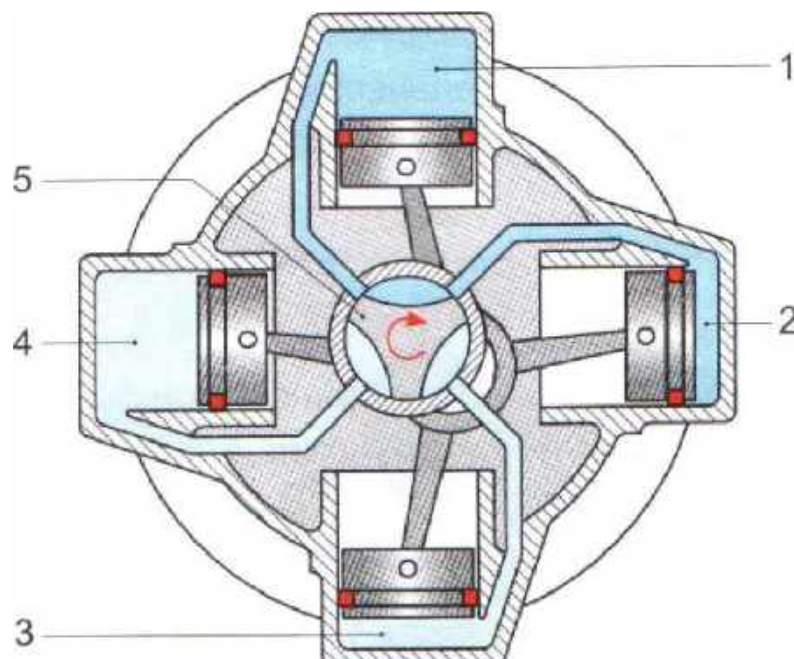


1,2 — шестерни (зубчатые колеса); 3 — корпус
Рисунок 9.3 – Шестеренный пневмомотор.

Шестерни могут иметь прямые, косые или шевронные зубья. Область применения шестеренных пневмомоторов достаточно широка: угольная промышленность (приводы конвейеров, лебедок), химическая промышленность (приводы насосов), металлургия (приводы конверторов, карусельных печей и другого оборудования), тяжелая промышленность (пусковые двигатели для дизелей) и т.д.

Радиально-поршневые пневмомоторы довольно сложны по конструктивному исполнению, тихоходны (20 - 700 об/мин), имеют большие габариты и массу по сравнению с другими типами двигателей. При этом они обеспечивают значительную величину крутящего момента. Обычно они имеют от 4 до 6 поршней, а диапазон мощностей составляет 1 - 2кВт.

В поршневых пневмомоторах поршню за счет энергии давления сжатого воздуха сообщается поступательное движение, которое затем преобразуется механическим путем во вращательное движение выходного вала (рисунок 9.4). Сжатый воздух одновременно подается в две рабочие камеры пневмомотора, например 1 и 2, через крановый распределитель 5, установленный на выходном валу.



1,2,3,4 - рабочие камеры пневмомотора; 5 - крановый распределитель

Рисунок 9.4 - Радиально-поршневой пневмомотор

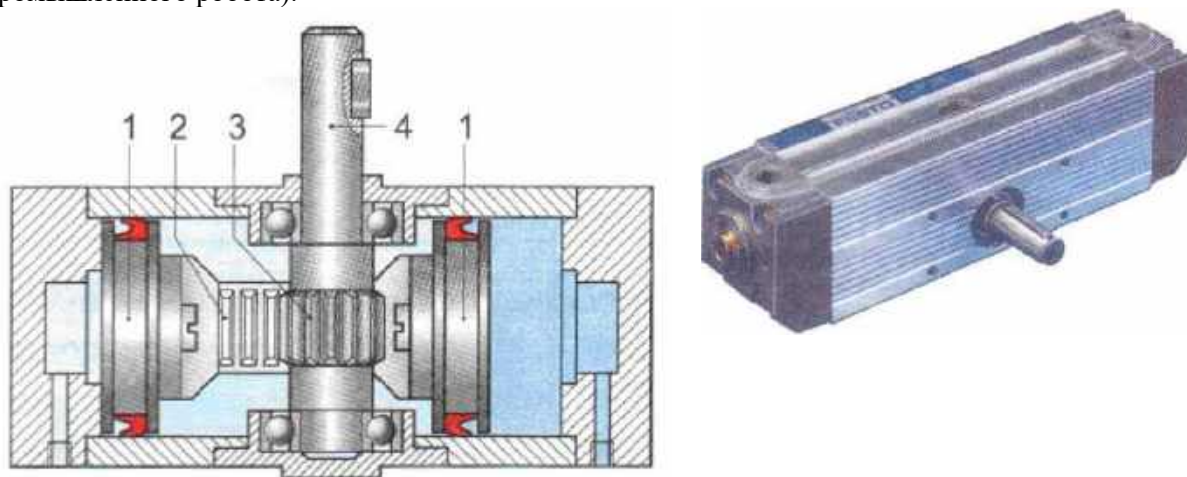
При этом соответствующие поршни, перемещаясь к нижней "мертвой точке", передают усилие на коленчатый вал через свои шатуны. После поворота вала, а вместе с ним и распределения на некоторый угол, сжатый воздух подается в рабочие камеры 2 и 3, а отработавший воздух из камер 4 и 1 сбрасывается в атмосферу также через крановый распределитель.

В турбинных пневмомоторах кинетическая энергия потока сжатого воздуха преобразуется в механическую энергию вращения выходного вала.

Турбинные пневмомоторы позволяют получать высокие частоты вращения (80000 - 400000 об/мин) выходного вала и небольшие крутящие моменты. Турбинные моторы применяют для высокоскоростного шлифования, а также в зубоветеринарной технике в качестве элемента привода бормашины.

В технике существует широкий круг задач, в которых требуется не линейное перемещение выходного звена исполнительного механизма, а поворот его на заданный угол. Угол поворота, как правило, ограничен, и значение его находится в диапазоне от 0 до 360 градусов.

Для решения указанных задач применяют поворотные пневматические двигатели, чаще всего поршневые или шибберные. Поршневой поворотный пневмодвигатель с реечной передачей (рисунок 9.5) выполняют на базе передачи "шестерня - рейка". Шестерня 3 устанавливается на выходном валу 4, входит в зацепление со штоком-рейкой 2, который жестко связан с поршнем 1 двух разнонаправленных цилиндров одностороннего действия. Вал связан с технологическим объектом, который необходимо повернуть на некоторый угол (например с захватным устройством промышленного робота).



а) конструктивная схема, б) внешний вид; 1 - поршень; 2 - шток-рейка;
3 - шестерня; 4 - выходной вал

Рисунок 9.5 - Поворотные пневмодвигатели

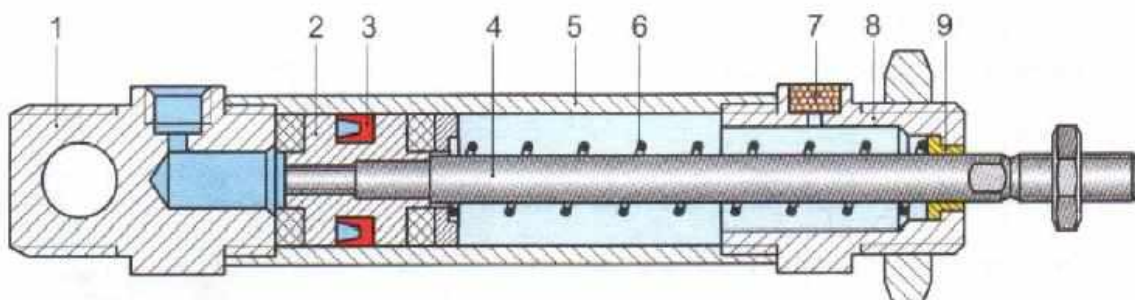
Поршневые пневмодвигатели можно выполнить таким образом, чтобы в конце рабочего хода происходило демпфирование, а поршни были снабжены магнитными вставками с целью обеспечения возможности бесконтактного опроса их положения. В некоторых конструкциях предусматривается также регулирование угла поворота. Максимальный крутящий момент, развиваемый поршневыми поворотными пневмодвигателями, составляет 150 Нм (при диаметре поршней 100 мм).

По функциональным возможностям пневмоцилиндры подразделяют на два базовых типа:

- пневмоцилиндры одностороннего действия: подача сжатого воздуха в них осуществляется для выполнения рабочего хода в одном направлении;
- пневмоцилиндры двустороннего действия: полезная работа совершается ими как при прямом, так и при обратном ходе поршня.

Пневмоцилиндры одностороннего действия применяют в выталкивателях и отсекающих устройствах, в зажимных, маркировочных и других подобных устройствах. Рабочий ход в них осуществляется под действием сжатого воздуха, а в исходную позицию выходное звено возвращается встроенной пружиной либо от внешней нагрузки (рисунок 9.6).

В рассматриваемой конструкции гильза пневмоцилиндра 5 (цилиндрический корпус) с обеих сторон закрыта крышками 1 и 8, причем в задней крышке 1 выполнено отверстие для подвода сжатого воздуха, а передняя крышка 8 имеет декомпрессионное отверстие с вмонтированным фильтроэлементом 7. Поршень 2 делит внутреннее пространство гильзы на две полости: штоковую, в которой находится жесткосвязанный с ним шток 4, и поршневую полость. Полости разграничены герметичным уплотнением 3 (например манжетой), расположенным в кольцевой проточке на наружной цилиндрической поверхности поршня. Передняя (проходная) крышка 8 снабжена направляющей втулкой 9, которая является опорой скольжения штока, передающего усилие от поршня на внешний объект. Возвратная пружина 6 смонтирована внутри цилиндра и охватывает шток.

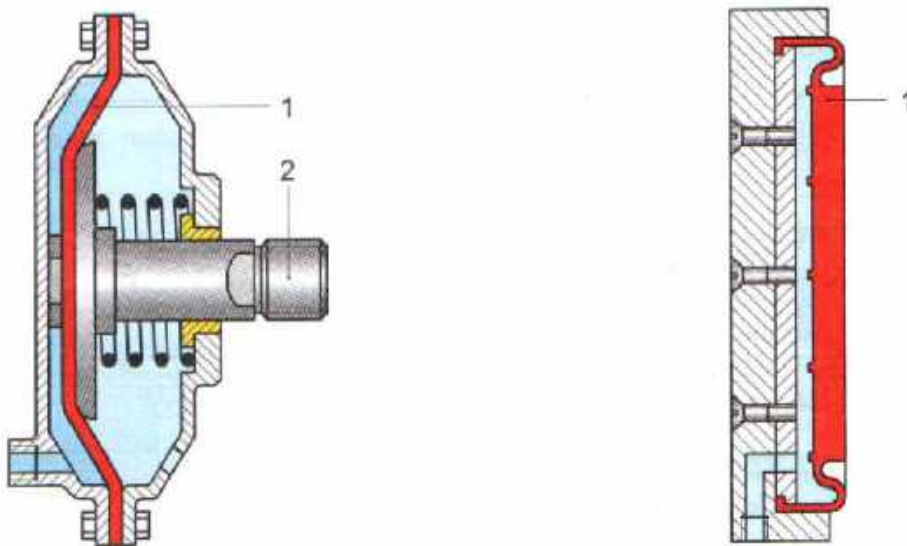


1 - задняя крышка; 2 - поршень; 3 - герметичное уплотнение; 4 - шток;
5 - гильза пневмоцилиндра (цилиндрический корпус); 6 - возвратная пружина; 7 -
фильтроэлемент; 8 - передняя крышка; 9 - направляющая втулка

Рисунок 9.6 - Пневмоцилиндр одностороннего действия

Недостатки данной конструкции:

- рабочее усилие снижено вследствие противодействия пружины (примерно на 10%);
- малое усилие при обратном ходе (например, 10% рабочего);
- ограниченное перемещение штока (максимум 100 мм);
- увеличенные продольные габариты (прибавляется длина сжатой пружины). Несмотря на простое устройство пневмоцилиндров одностороннего действия, существует большое количество их конструктивных исполнений, например мембранные пневмоцилиндры (рисунок 9.7).



1 - упругая мембрана; 2 – шток

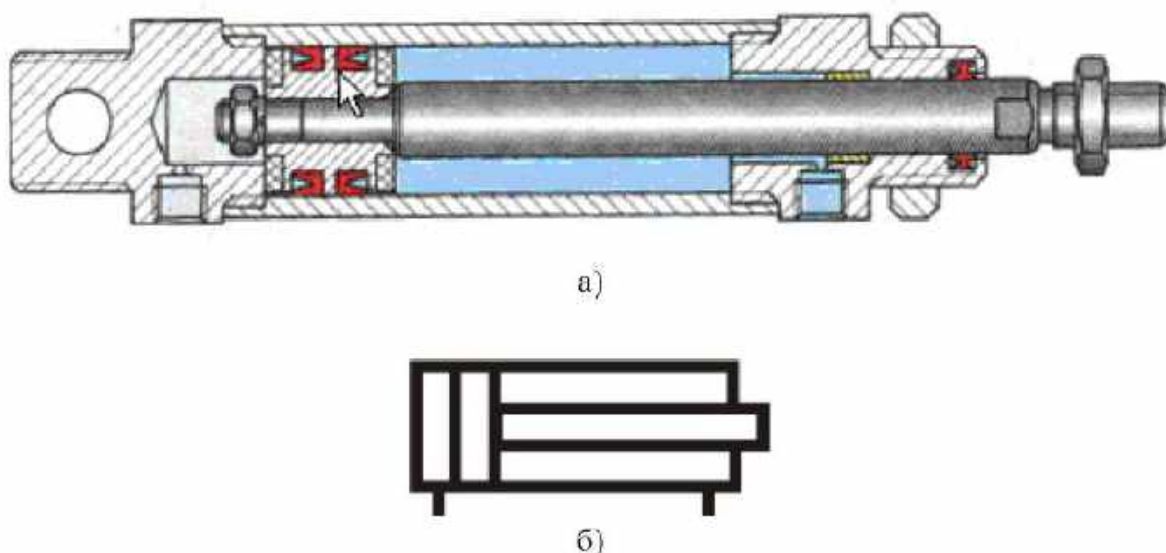
Рисунок 9.7 - Мембранный пневмоцилиндр одностороннего действия

Конструктивные отличия заключаются в том, что подвижный поршень заменен жесткозаземленной упругой мембраной 1, изготовленной из резины, прорезиненной ткани или пластика. Благодаря большой площади мембраны такие пневмоцилиндры развивают усилие до 25000 Н, но при этом ход штока 2 ограничен. В связи с особенностями конструкции мембранные

пневмоцилиндры характеризуются существенно меньшими продольными габаритами и простотой монтажа; они недороги и в них отсутствуют подвижные уплотнения.

Пневмоцилиндры двустороннего действия применяют в тех случаях, когда требуется передавать рабочее усилие при линейных перемещениях в обоих направлениях, например при транспортировании, сортировании, установке, механической обработке, подъеме и опускании и других технологических операциях.

Принципиальное отличие пневмоцилиндров двустороннего действия от рассмотренных выше пневмоцилиндров одностороннего действия заключается в том, что в них как прямой, так и обратный ходы поршня осуществляются под действием сжатого воздуха при попеременной его подаче в одну из полостей, в то время как другая соединена с атмосферой (рисунок 9.8).

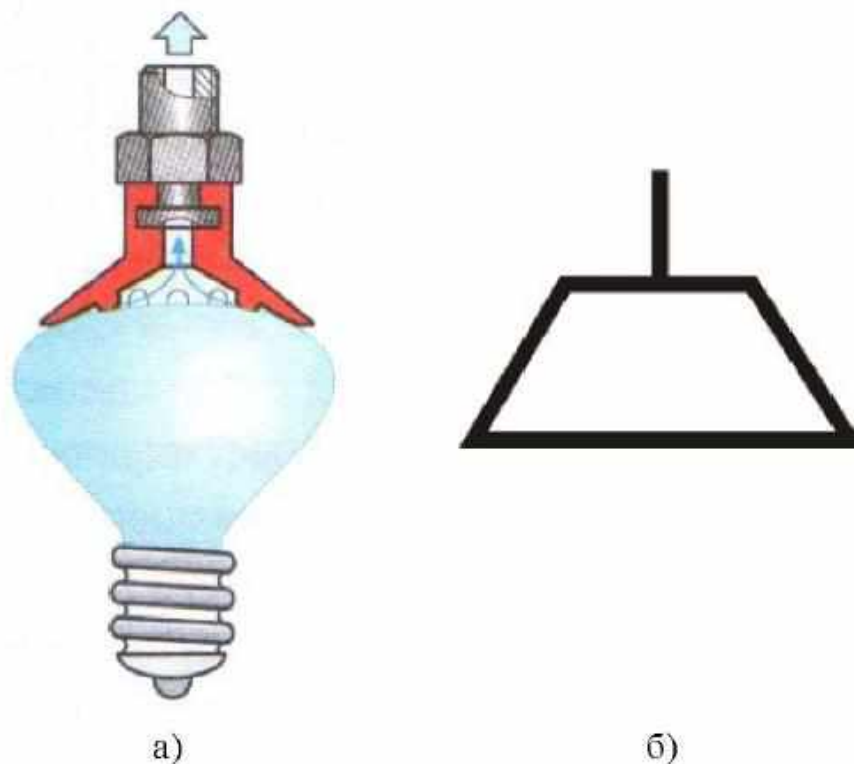


а - конструктивная схема; б - обозначение на пневмосхемах
Рисунок 9.8 - Пневмоцилиндр двустороннего действия

Очевидно, что перемещение штока в любом направлении является рабочим и может осуществляться под нагрузкой. При обратном ходе поршня штоковая полость находится под избыточным давлением, что связано с необходимостью установки дополнительных уплотнений на поршне и в передней крышке для предотвращения утечек сжатого воздуха по штоку.

Существует целый ряд пневматических исполнительных устройств, которые нельзя однозначно отнести ни к одному из ранее описанных типов, в связи с чем такие устройства называют специальными. К таким устройствам можно отнести: вакуумные захваты, цанговые зажимы, пневматические захваты и т. д.

В вакуумных захватах объект удерживается вследствие разрежения, создаваемого в полости между эластичным захватом (присоской) и поверхностью самого объекта (рисунок 9.9), а при этом для получения вакуума в захвате важно, чтобы последняя была достаточно гладкой и плотной.



а - конструктивная схема; б - обозначение на пневмосхемах
Рисунок 9.9 - Вакуумный захват

В заводских сетях для создания вакуума используют вакуум-насосы. В этих условиях присоска вакуумного захвата должна управляться аппаратурой, способной работать с давлениями ниже атмосферного.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

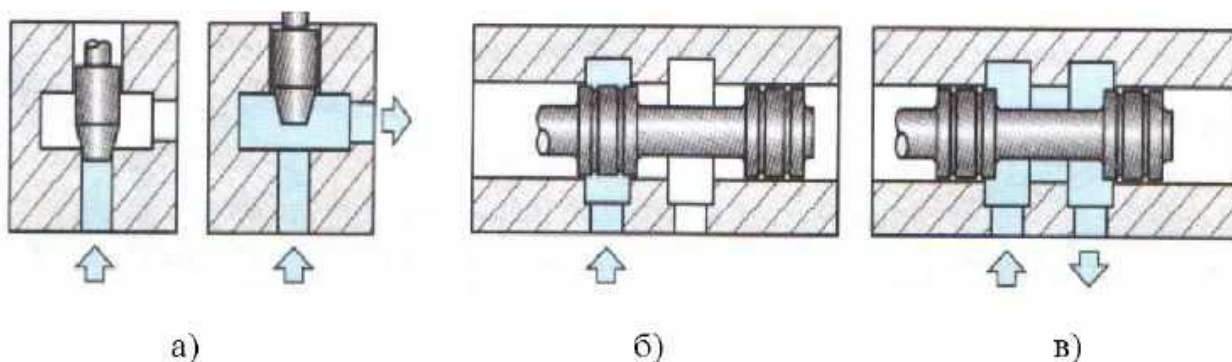
1. Шахматов Е. В. Пневмопривод и средства автоматики: учеб. пособие / Н.Д. Быстров, А.А. Пголкин, В.Н. Плюхны, С.А. Петренко, Е.В.Шахматов - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2006. - 112 с. : ил.
2. Беляев Н.М., Уваров Е.И., Степанчук Ю.М. Пневмогидравлические системы. Расчет и проектирование: Учеб. пособие для технических вузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 271с.

ЛЕКЦИЯ №10 РЕГУЛИРУЮЩАЯ ПОДСИСТЕМА

Функциональное значение пневматических элементов, образующих направляющую и регулирующую подсистему пневмопривода, заключается в управлении энергией сжатого воздуха, поступающего от источника (компрессорной станции) к потребителю (исполнительным механизмам). Чтобы исполнительные механизмы совершили полезную работу в нужном месте и в требуемом объеме, следует обеспечить движение потока сжатого воздуха в соответствующем направлении и отрегулировать до необходимого уровня его параметры (давление и расход).

В направляющих и регулирующих устройствах воздействие на поток сжатого воздуха осуществляется посредством подвижных запорно-регулирующих элементов (ЗРЭ).

В зависимости от способа воздействия элемента на поток сжатого воздуха практически все устройства, входящие в направляющую и регулирующую подсистему пневмоприводов, подразделяются на два больших класса: аппаратуру клапанного типа и аппаратуру золотникового типа (рисунок 10.1).



клапанного (а) и золотникового (б) типов
Рисунок 10.1 - Принцип действия аппаратов

От типа конструктивного исполнения аппарата (клапанный или золотниковый) зависят характеристики процесса его переключения (усилия, длина хода ЗРЭ), степень герметичности, уровень требований к чистоте рабочей среды и необходимости смазки. К недостаткам аппаратуры клапанного типа можно отнести следующее: требуется приложение значительных усилий для перемещения ЗРЭ, что связано с необходимостью преодоления сил, возникающих от давления сжатого воздуха на последний, или сил сопротивления пружин, прижимающих ЗРЭ к седлу клапана.

В аппаратуре золотникового типа ЗРЭ перемещается перпендикулярно осевой линии потока. В подобных аппаратах усилие, обусловленное давлением сжатого воздуха на ЗРЭ, не приводит к какому-либо его смещению, т.к. силы давления на торцы золотника уравновешены (золотник гидравлически разгружен). Для перемещения ЗРЭ необходимо преодолеть только силы трения между ним и корпусом, что является неоспоримым для такого конструктивного решения.

При этом можно выделить следующие его недостатки:

- 1) для полного открытия рабочего канала золотник необходимо переместить как минимум на величину диаметра канала (на что требуется затратить определенное время);
- 2) гарантированный зазор между золотником и расточкой корпуса является "узким" местом, если учитывать возможность засорения зазора и заклинивания ЗРЭ.

10.1 ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

Пневматические распределители (пневмораспределители) относятся к направляющей аппаратуре и предназначены для управления потоками подводимого к ним сжатого воздуха. Управление осуществляется путем изменения (при переключении) схемы соединения внутренних каналов распределителя с входным и выходными присоединительными отверстиями. Функциональные возможности распределителей характеризуется рядом параметров: количество рабочих каналов, количество позиций переключения, нормальная позиция (позиция "на складе"), способ управления и пропускная способность. Все эти параметры, за исключением последнего, отражаются в условном графическом обозначении любого распределителя.

Каждая позиция распределителя (возможная схема внутренних соединений) обозначается квадратом, в котором показаны пути потока сжатого воздуха (рисунок 10.2):

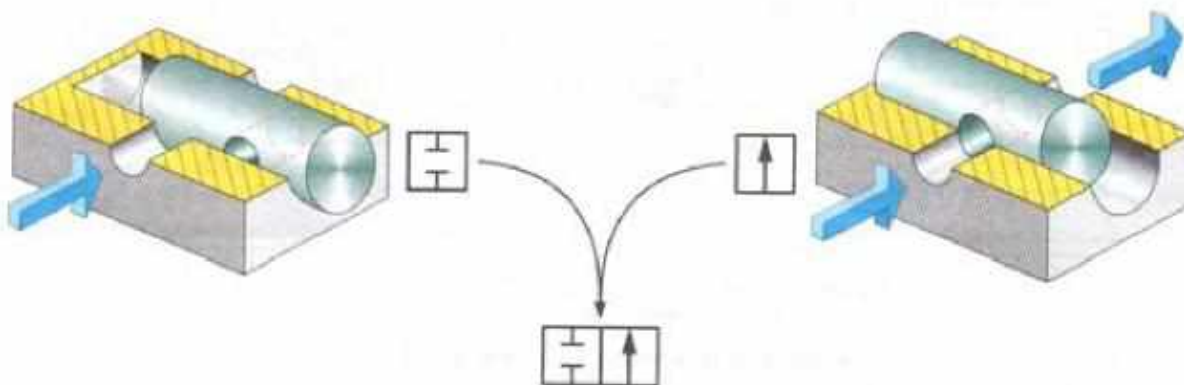


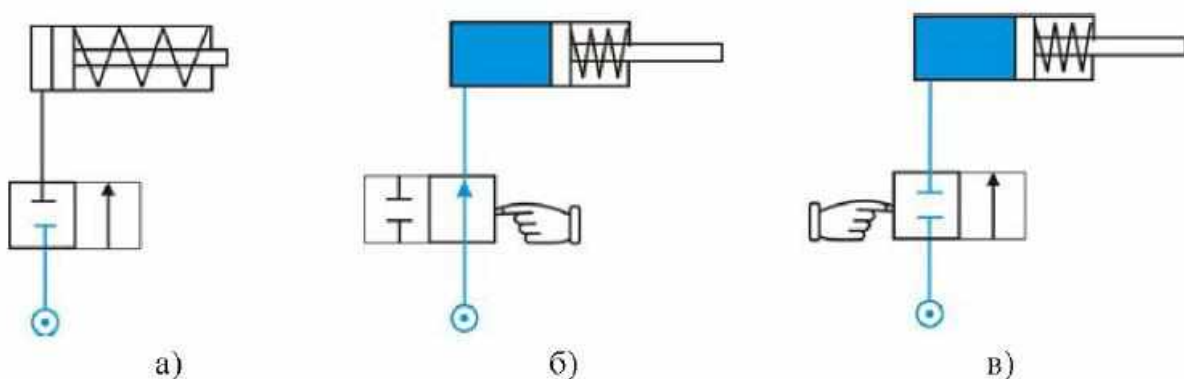
Рисунок 10.2 - Принцип формирования условного графического обозначения распределителей

В представленной модели простейшего распределителя подвижный запорный элемент может занимать две дискретные позиции, соответствующие двум состояниям пневмораспределителя: 1) "проход воздуха закрыт"; 2) "проход воздуха открыт". При этом запорный элемент может коммутировать между собой две линии:

1) линию питания (вход); 2) линию потребителя (выход). Соответственно данный распределитель можно назвать двухлинейным и двухпозиционным, что наглядно отражается в его условном графическом обозначении.

Чтобы кратко охарактеризовать возможности распределителей по коммуникации подведенных к ним рабочих каналов, применяют дробное цифровое обозначение, где в числителе указывают количество коммутируемых линий, а в знаменателе - количество возможных позиций. В соответствии с этим принципом рассмотренный выше аппарат будет называться 2/2 - пневмораспределителем.

На принципиальных пневматических системах распределители изображают таким образом, чтобы линии связи (внешние пневматические линии) были подведены к тому квадрату, который обозначает исходную позицию распределителя (рисунок 10.3). Чтобы получить представление о работе последнего, следует мысленно передвинуть относительно линии связи соответствующий квадрат в условном графическом обозначении на то место, которое на схеме занимает квадрат, изображающий исходную позицию распределителя.

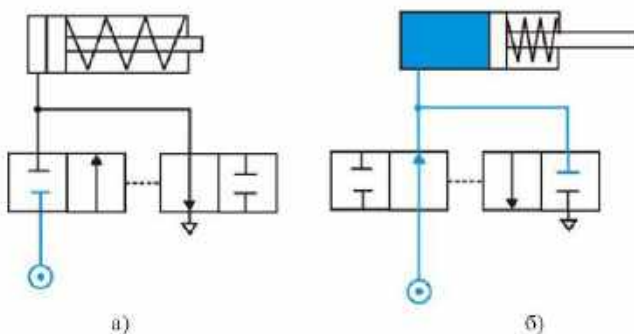


а - цилиндр без сжатого воздуха в рабочей полости; б - соединение рабочей полости с линией нагнетания; в - перекрытие линии нагнетания

Рисунок 10.3 - 2/2 пневмораспределитель на линии управления пневмоцилиндром одностороннего действия.

Заключительный этап-возврат штока в исходное положение - оказывается невыполнимым, поскольку при переключении пневмораспределителя в исходную позицию отработавший сжатый воздух не имеет возможности выхода из пневмоцилиндра (рис. 10.3 в).

Возникшую проблему можно решить путем использования двух параллельно работающих (условно связанных между собой) 2/2 пневмораспределителей (рисунок 10.4).



а - соединение с линией выхлопа; б - соединение с линией нагнетания

Рисунок 10.4 – Управление пневмоцилиндром одностороннего действия двумя 2/2 - пневмораспределителями

Через один из них осуществляется подача сжатого воздуха в пневмоцилиндр, а другой предназначен для отвода отработавшего воздуха.

В связи с тем, что в пневматических приводах, в отличие от гидравлических, не требуется наличие возвратной сливной магистрали, отработавший воздух можно сбрасывать непосредственно в атмосферу.

На практике для управления пневмоцилиндрами одностороннего действия применяют не два 2/2 - пневмораспределителя, а один, более сложный по конструктивному исполнению, который имеет возможность коммутировать линии питания, потребления и выхлопа - 3/2 - пневмораспределитель (рисунок 10.5).

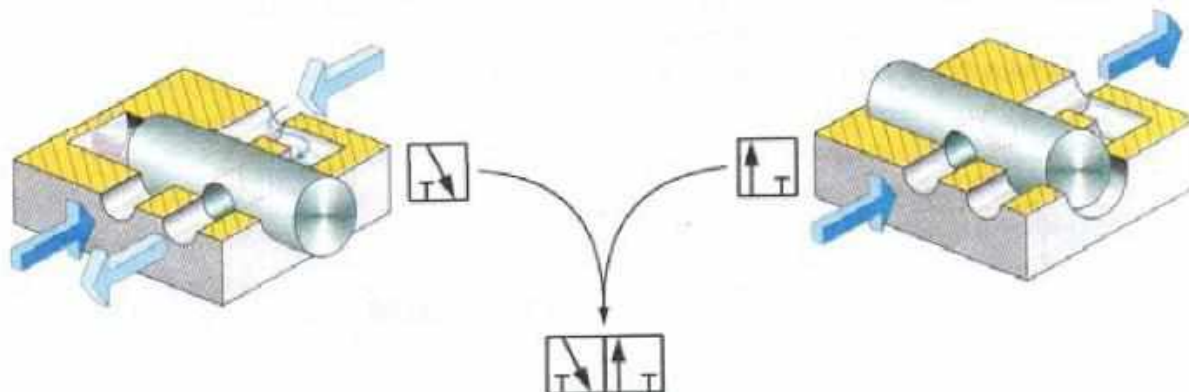
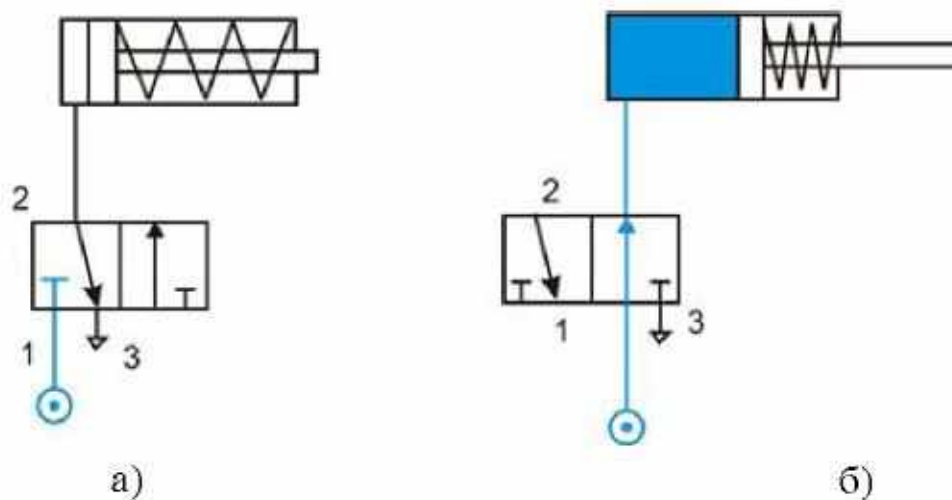


Рисунок 10.5 - Модель и условное графическое обозначение 3/2 – пневмораспределителя

Таким образом, 3/2 - пневмораспределитель коммутирует между собой три рабочих линии (рисунок 10.6): 1 - линию питания, 2 - линию потребителя и 3 - линию выхлопа. При этом сам распределитель может занимать две позиции: питание перекрыто, потребитель связан с выхлопом; сжатый воздух поступает к потребителю; выхлоп перекрыт.

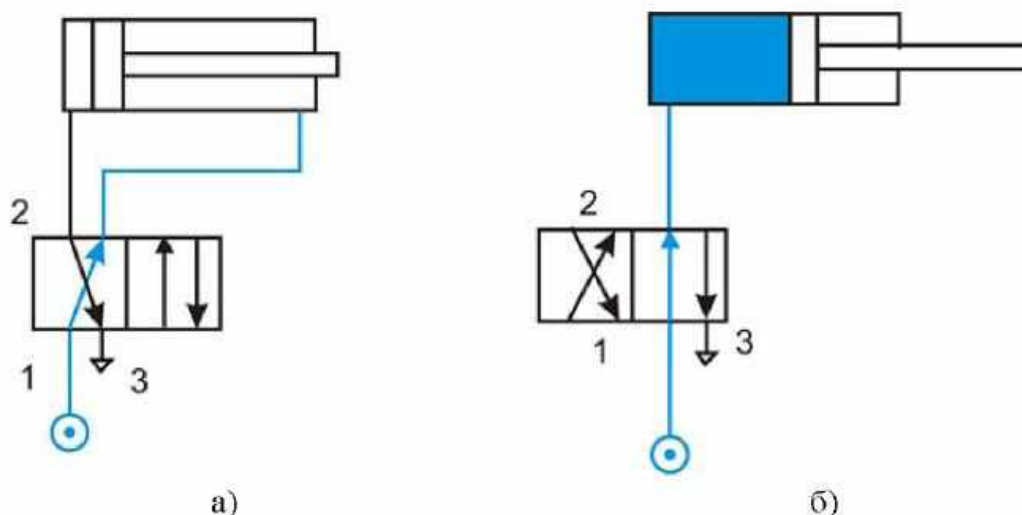


а - соединение с линией выхлопа; б - соединение с линией нагнетания;

1 - линия питания; 2 - линия потребителя; 3 - линия выхлопа

Рисунок 10.6 Управление пневмоцилиндром одностороннего действия 3/2 - пневмораспределителем

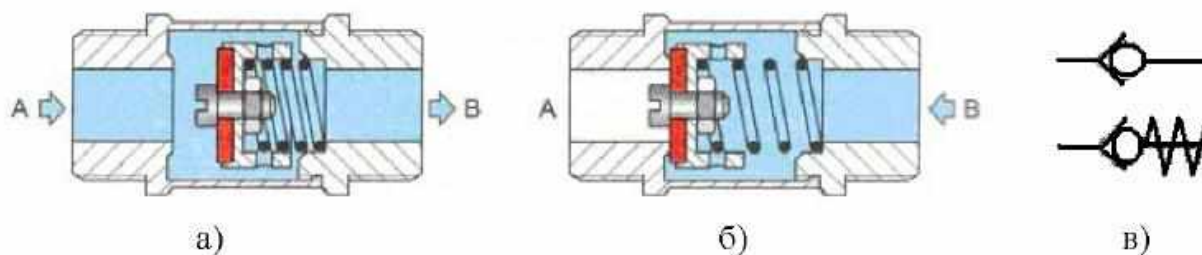
Для управления пневмоцилиндрами двухстороннего действия потребуется еще более сложные распределители, так как в этом случае последние должны обеспечивать перераспределение потока сжатого воздуха между двумя рабочими полостями исполнительного механизма и сброс из них отработавшего воздуха (рисунок 10.7).



а - соединение рабочей полости с линией выхлопа, штоковой полости с линией нагнетания; б - соединение штоковой полости с линией выхлопа, рабочей полости с линией нагнетания.

Рисунок 10.7 - Управление пневмоцилиндром двустороннего действия 4/2 – пневмораспределителем

К запорным элементам в пневмоавтоматике относятся устройства, обеспечивающие полное перекрытие потока сжатого воздуха: обратные клапаны, пневмозамки, вентили. Обратные клапаны устанавливают в тех линиях пневматической системы, где требуется обеспечить свободное протекание потока сжатого воздуха в одном направлении и полное его перекрытие - в обратном (рисунок 10.8).

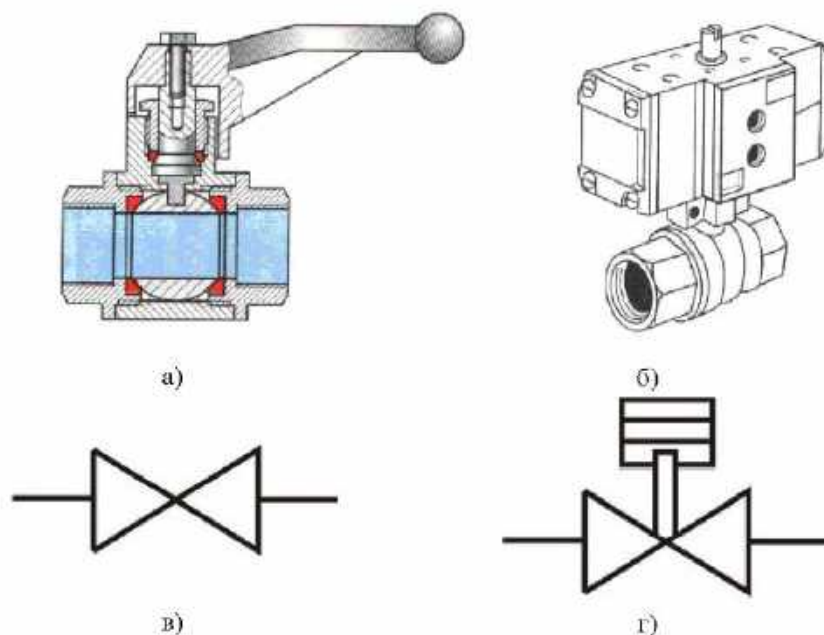


А - входной канал В - выходной канал а - движение в прямом направлении; б - движение в обратном направлении; в - обозначение на пневмосхемах

Рисунок 10.8 - Обратный клапан

Символ пружины включают в условное графическое обозначение обратных клапанов в том случае, когда необходимо подчеркнуть следующее: клапан открывается при условии, что давление на входе превышает давление на выходе и давление пружины.

Для запираания магистральных трубопроводов или отсечения отдельных ветвей пневмосистемы применяют различные вентили. В шаровых вентилеях (рисунок 10.9) поток сжатого воздуха полностью перекрывается при повороте запорно-регулирующего элемента (шара с выполненным в нем сквозным отверстием) на 90° .



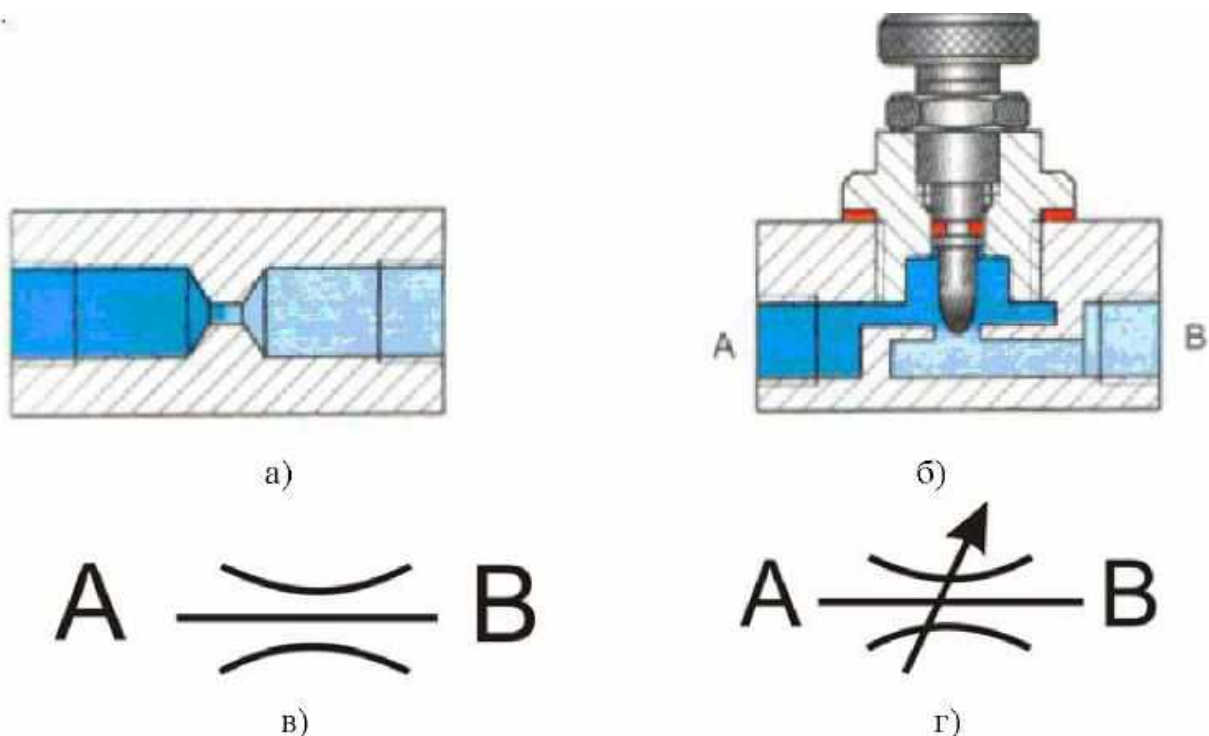
а - конструктивная схема шарового замка с ручным управлением; б - внешний вид шарового замка с пневматическим управлением; в - обозначение на пневмосхемах шарового замка с ручным управлением; г - обозначение на пневмосхемах шарового замка с пневматическим управлением

Рисунок 10.9 - Шаровый замок

Расход сжатого воздуха в пневмоприводах обычно регулируют с целью управления скоростями движения выходных звеньев исполнительных механизмов. К примеру, чем больше расход воздуха, поступающего в пневмоцилиндр, тем выше скорость перемещения штока.

Простейшим пневматическим элементом, позволяющим регулировать расход воздуха, является дроссель. Дроссель - это устройство, обеспечивающее существенное уменьшение площади проходного сечения канала, по которому движется сжатый воздух.

По существу, дроссель представляет собой щель некоторой длины, имеющую определенные размеры проходного сечения. При этом площадь последнего в зависимости от конструктивного исполнения дросселя либо остается постоянной, либо изменяется путем вращения регулировочного винта. Собственно, дроссель будет называться либо постоянным (рисунок 10.10а), либо регулируемым (рисунок 10.10б).



: а - постоянный; б - регулируемый; в - обозначение на пневмосхемах постоянного пневмодросселя; г - обозначение на пневмосхемах регулируемого пневмодросселя;
А, В - каналы

Рисунок 10.10 – Пневмодроссели.

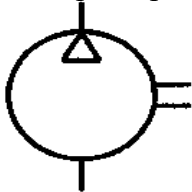
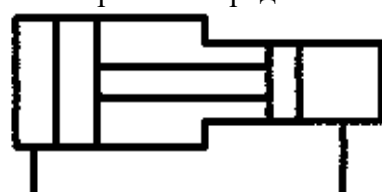
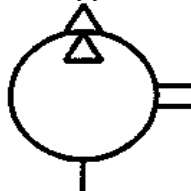
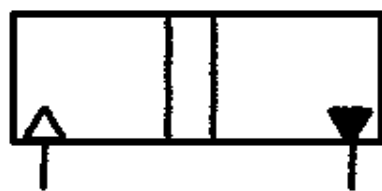
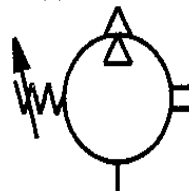
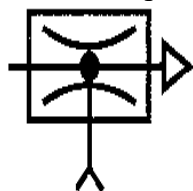
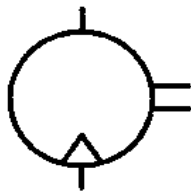
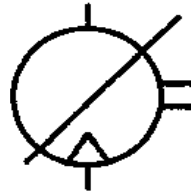
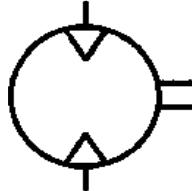
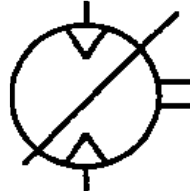
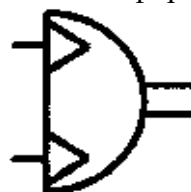
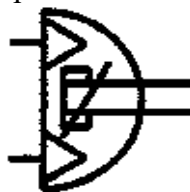
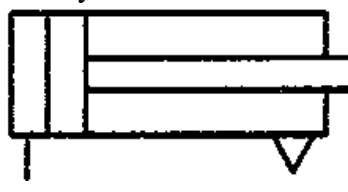
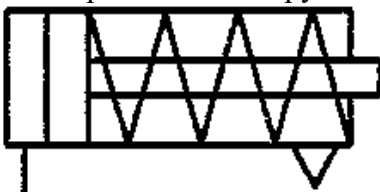
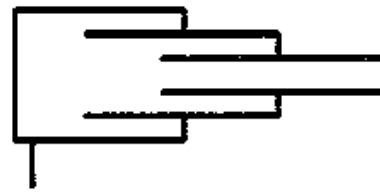
Если длина дросселя превышает ее диаметр, дроссель принято называть ламинарным, в противном случае - турбулентным.

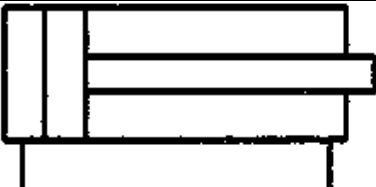
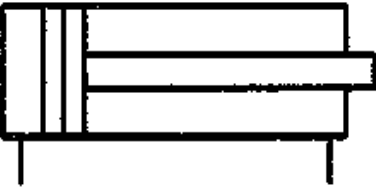
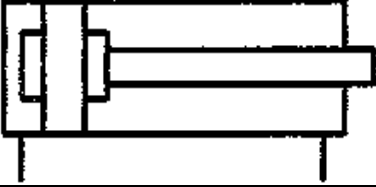
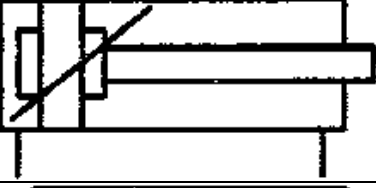
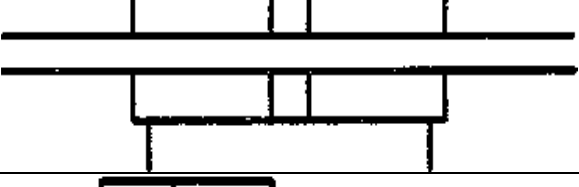
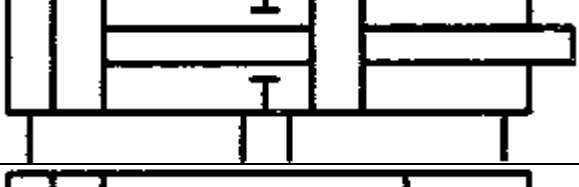
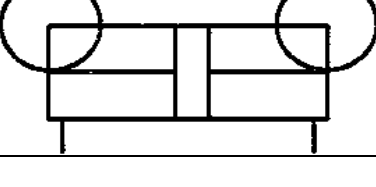
Назначение предохранительных клапанов заключается в предотвращении повышения давления в контролируемых точках сверх заданного уровня путем автоматического сброса части сжатого воздуха в атмосферу.

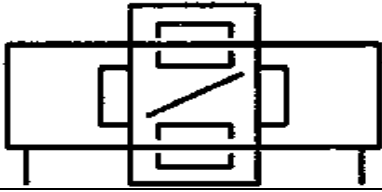
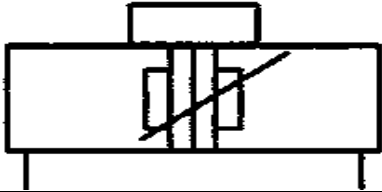
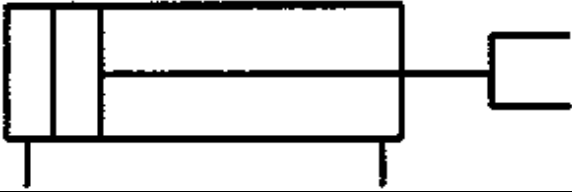
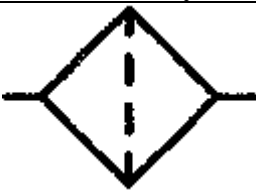
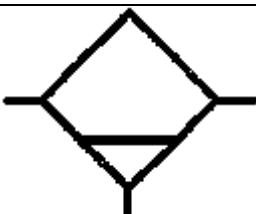
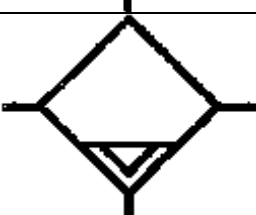
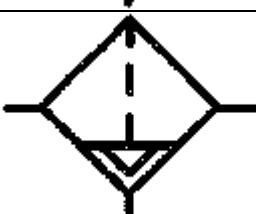
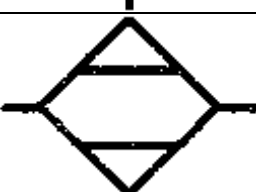
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

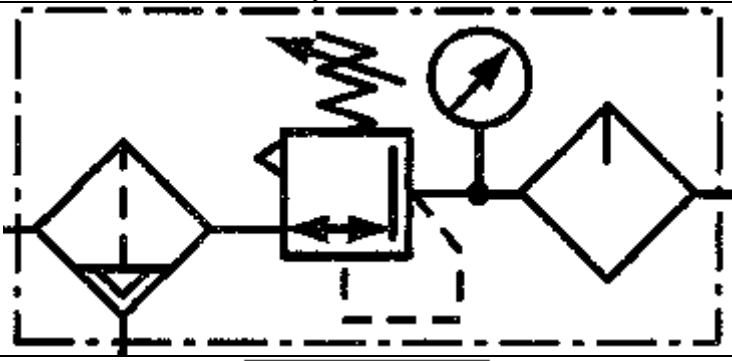
1. Шахматов Е. В. Пневмопривод и средства автоматики: учеб. пособие / Н.Д. Быстров, А.А. Пголкин, В.Н. Плехни, С.А. Петренко, Е.В.Шахматов - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2006. - 112 с. : ил.
2. Беляев Н.М., Уваров Е.И., Степанчук Ю.М. Пневмогидравли- ческие системы. Расчет и проектирование: Учеб. пособие для технических вузов. - М.: Высшая школа, 1988. - 271с.

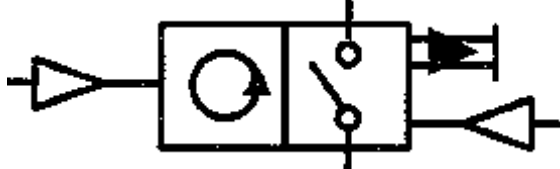
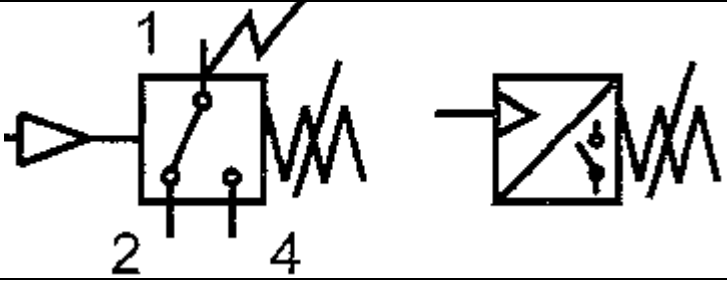
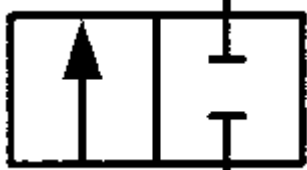
Условные графические обозначения на пневматических схемах (ISO 1219, ГОСТ 2.781-96, ГОСТ 2.782-96)

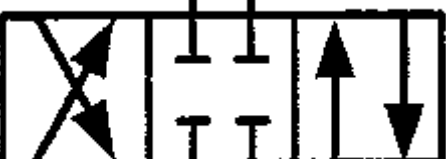
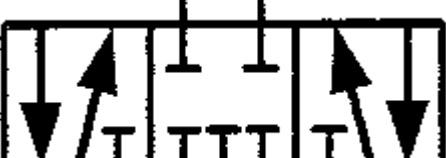
Компрессор 	Поступательный преобразователь с одним видом рабочей среды 	Поступательный преобразователь с двумя видами рабочей среды 	
Вакуум-насос 	Пневмогидравлический вытеснитель 	Усилитель давления 	Эжектор 
Исполнительные механизмы			
Пневмомоторы			
Нереверсивный нерегулируемый 	Нереверсивный регулируемый 	Реверсивный нерегулируемый 	Реверсивный регулируемый 
Поворотные пневмодвигатели			
Без демпфирования 		С демпфированием в конце хода 	
Пневмоцилиндры одностороннего действия			
Без указания способа возврата штока 		С возвратом штока пружиной 	
С выдвижением штока пружиной 		Телескопический 	
Пневмоцилиндры двустороннего действия			

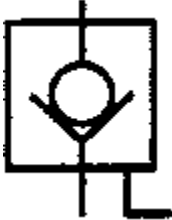
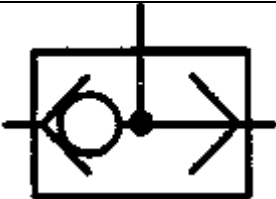
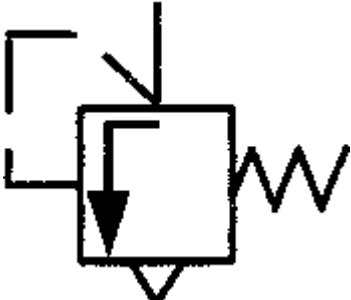
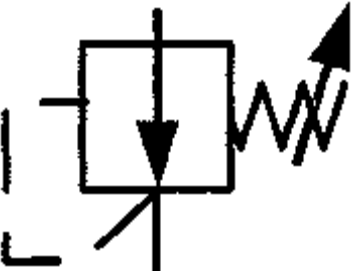
Общее обозначение	
С постоянным магнитом на поршне	
С нерегулируемым торможением в конце хода	
С регулируемым торможением в конце хода	
С проходным штоком	
С проходным полым штоком	
Телескопический	
Тандем	
С пневмоприводным фиксатором штока	
С гибким штоком	

Бесштоковый с магнитной муфтой	
Бесштоковый с ленточным уплотнителем	
Специальные исполнительные механизмы	
Захват промышленного робота	
Вакуумный захват	
Устройства подготовки сжатого воздуха	
Фильтр	
Влагоотделитель с ручным отводом конденсата	
Влагоотделитель с автоматическим отводом конденсата	
Фильтр-влагоотделитель	
Осушитель	

Охладитель	
Нагреватель	
Маслораспылитель	
Блок подготовки воздуха	
Детальное обозначение	
Упрощенное обозначение	
Ресивер	
Контрольно-измерительные устройства	
Манометр	
Термометр	
Указатель (индикатор) давления	

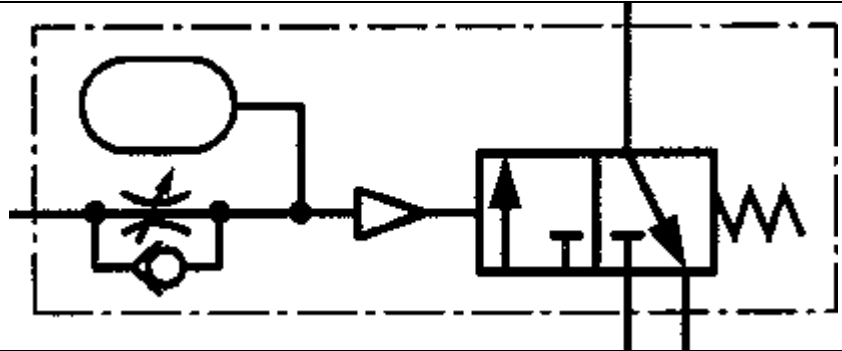
Указатель расхода	
Расходомер	
Счетчики импульсов	
С ручной установкой нуля и с пневматическим входным сигналом	
нестандартизованные обозначения: с ручной установкой нуля	
с пневматической установкой нуля и с пневматическим входным сигналом	
Реле давления	
Пневматические распределители	
Нормально закрытый 2/2- распределитель	
Нормально открытый 2/2- распределитель	
Нормально закрытый 3/2- распределитель	

Нормально открытый 3/2- распределитель	
4/2- распределитель	
5/2- распределитель	
3/3- распределитель	
4/3- распределитель	
5/3- распределитель	
Дросселирующий распределитель	
Пневматические клапаны	
Обратные	
Без пружины	

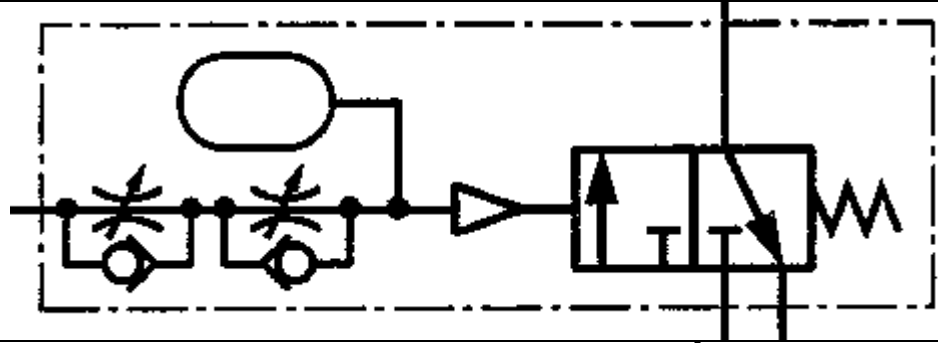
С пружиной	
Пневмозамки	
С управлением открытием	
С управлением закрытием	
Логические	
«ИЛИ»	
«И»	
Давления	
Предохранительный	
Редукционный двухлинейный	

Редукционный трехлинейный	
Последовательности	
Вариант 1	
Вариант 2	
Быстрого выхлопа	
Выдержки времени	
С задержкой по переднему фронту	

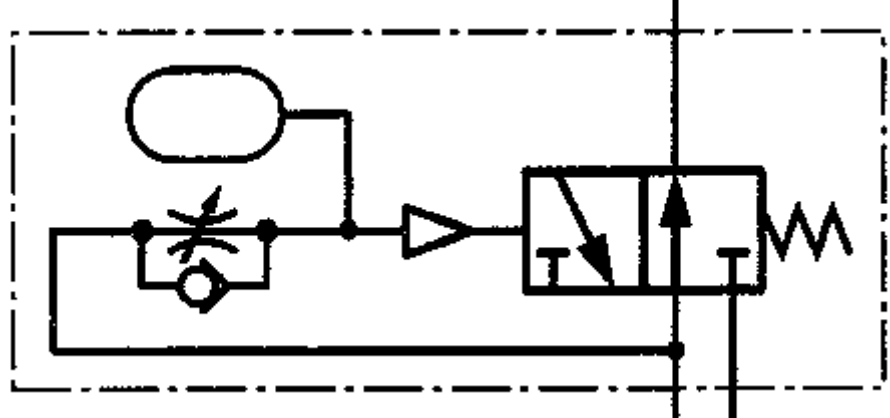
С задержкой по заднему фронту



С задержкой по переднему и заднему фронтам



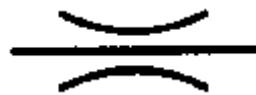
Формирователь импульса



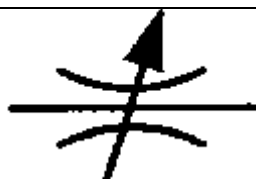
Устройства регулирования расхода

Дроссели

Нерегулируемый



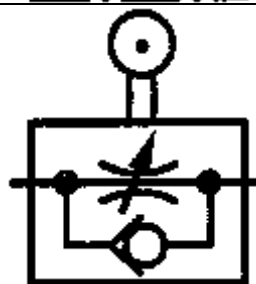
Регулируемый

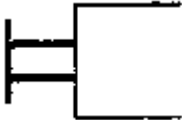
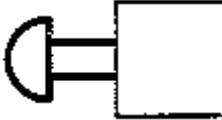
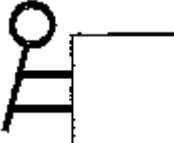
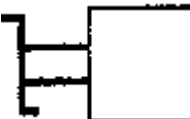
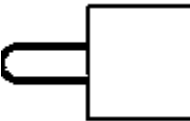
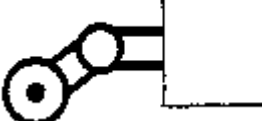
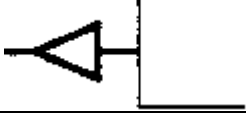


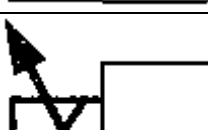
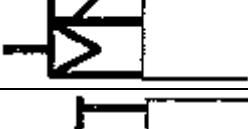
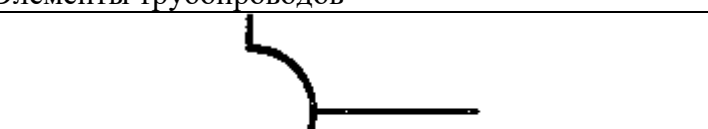
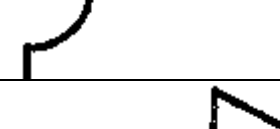
С обратным клапаном

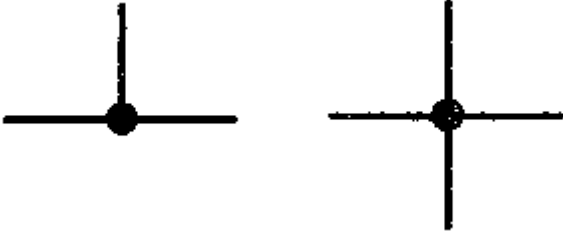
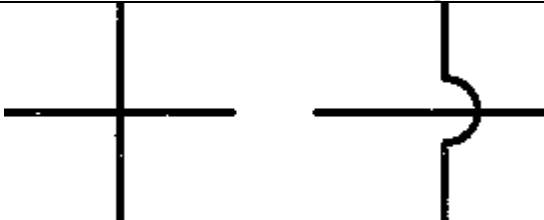
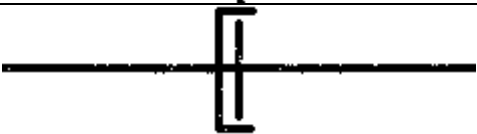
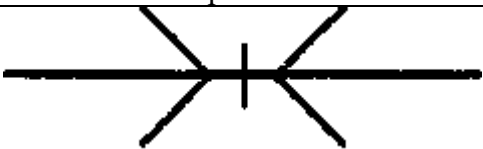
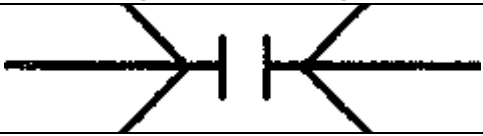
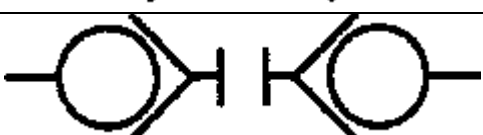


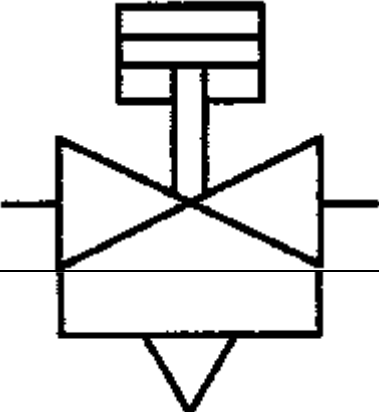
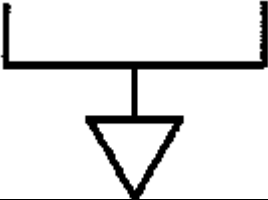
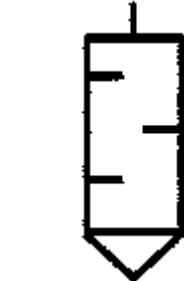
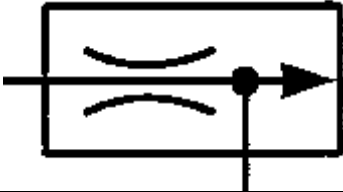
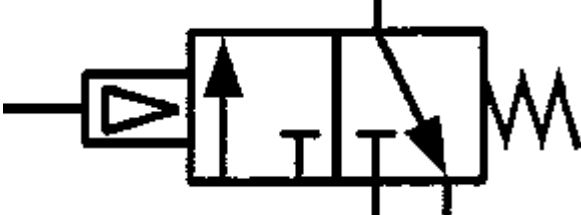
Путевой

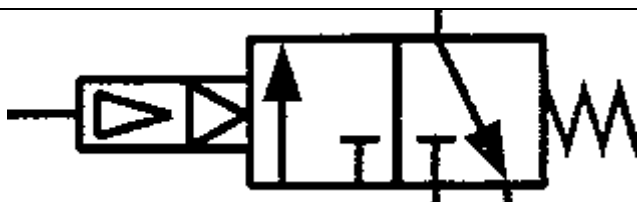


Выхлопной	
Устройства управления пневмоаппаратами	
Управление мускульной силой	
Без уточнения типа	
Кнопка	
Рычаг	
Педаля	
Поворотная рукоятка	
Механическое управление	
Толкатель (кулачок)	
Ролик	
Ролик с «ломающимся» рычагом	
Пружина	
Фиксатор	
Пневматическое управление	
Прямое нагружением	
Прямое разгрузением	

Непрямое нагружением	
За счет разности площадей	
Электрическое управление	
Электромагнит с одной обмоткой	
Электромагнит с двумя встречными обмотками	
Электромагнит с пропорциональным управлением	
Шаговый электродвигатель	
Комбинированное управление	
Электромагнитное И не прямое пневматическое	
Электромагнитное ИЛИ не прямое пневматическое	
Не прямое пневматическое с ручным дублированием	
Электромагнит и пружина	
Элементы трубопроводов	
Заборник воздуха из атмосферы	
Место присоединения к источнику сжатого воздуха	
Линии всасывания, напора, слива	

Линии управления, отвода конденсата	
Соединение трубопроводов	
Пересечение трубопроводов без соединения	
Трубопровод гибкий, шланг	
Место присоединения несоединенное	
Место присоединения соединенное	
Общее обозначение разъемного соединения	
Фланцевое соединение	
Штуцерное резьбовое соединение	
Быстроразъемное соединение без запорного элемента	
Соединенное	
Несоединенное	
Быстроразъемное соединение с запорным элементом	
Соединенное	
Несоединенное	
Вентиль	

Вентиль с пневмоприводом	
Выхлоп без возможности присоединения	
Выхлоп с возможностью присоединения	
Пневмоглушитель	
Струйные датчики положения и усилители сигнала (нестандартизованные обозначения)	
Датчик подпора	
Вилкообразный воздушный барьер	
С кольцевым соплом	
С встречным соударением струй	
Однокаскадный усилитель	

Двухкаскадный усилитель		
Маркировка присоединительных отверстий пневмоустройств		
Основное входное отверстие (подвод питания)	P	1
Выходные отверстия (подача рабочей среды)	A,B,C...	2,4,6...
Выхлопные отверстия	R,S,T...	3,5,7...
Отверстия каналов управления	X,Y,Z...	10,12,14...

ЛЕКЦИЯ №11 НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И УСТРОЙСТВО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Гидропривод – совокупность гидравлических устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин с помощью рабочей жидкости под давлением.

Гидроприводы бывают двух типов:

- гидродинамические;
- объемные.

В гидродинамических приводах используется кинетическая энергия потока жидкости. В объемных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости.

Объемным гидропривод называется потому, что передача движения от источника энергии (насоса) к исполнительному механизму (гидродвигателю) осуществляется за счет перемещающихся внутри системы объемов жидкости, т.е. рабочая жидкость обеспечивает кинематические связи (перемещение, скорость) в системе путем вытеснения замкнутых объемов жидкости.

В гидродинамическом приводе, в отличие от объемного, жидкость обеспечивает силовые связи.

В состав объемного гидропривода (рисунок 11.1) входят следующие устройства:

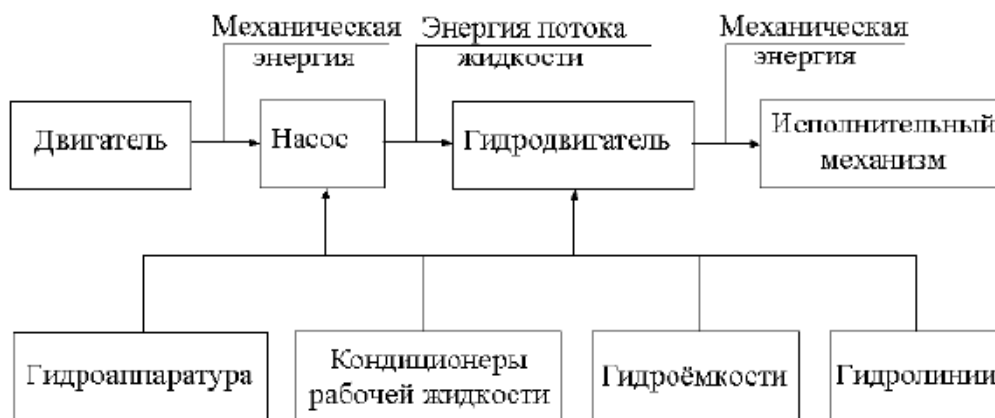


Рисунок 11.1- Функциональная схема гидравлического привода

- один или несколько насосов;
- один или несколько гидродвигателей (гидроцилиндров, гидромоторов, поворотных гидродвигателей);
- гидроаппаратура (клапаны, дроссели, гидрораспределители и др.);
- кондиционеры рабочей жидкости (фильтры, теплообменники и др.);
- гидроёмкости (гидробаки, гидроаккумуляторы);
- гидролинии.

Объемные гидродвигатели (гидроцилиндры, гидромоторы и поворотные гидродвигатели) преобразуют энергию потока рабочей жидкости в механическую энергию выходных звеньев (исполнительных механизмов) привода.

Гидроаппараты (клапаны, дроссели, распределители) предназначены для управления потоком рабочей жидкости. Под этим понимается изменение или поддержание заданных значений давления или расхода рабочей жидкости, либо изменение направления, пуск и остановка потока рабочей жидкости, а также открытие или перекрытие отдельных гидролиний. При помощи гидроаппаратуры осуществляется управление гидроприводом и его защита от перегрузок.

Кондиционеры рабочей жидкости обеспечивают поддержание ее необходимых качественных показателей и состояния. К ним относятся фильтры, теплообменники (охладители и нагреватели), влагоотделители и др.

Гидроемкости (гидробаки, гидроаккумуляторы) служат для хранения рабочей жидкости, которая используется в процессе работы гидропривода.

Гидролинии предназначены для движения рабочей жидкости или передачи давления от одного устройства гидропривода к другому или внутри устройства от одной полости (камеры) к другой. Различают гидролинии всасывающие, напорные, сливные, исполнительные, дренажные, управления и каналы. Конструктивно гидролинии представляют собой трубы, рукава, каналы и соединения. Все гидравлические устройства должны быть оснащены уплотнениями для герметизации соединений.

Принцип действия объемного гидропривода основан:

- на практической несжимаемости рабочей жидкости (высоком модуле объемной упругости рабочей жидкости, который находится в пределах 1350...1750 МПа для минеральных масел, применяемых в гидроприводах);
- использовании закона Паскаля («Внешнее давление, производимое на жидкость, заключенную в закрытом сосуде, передается жидкостью во все точки без изменения»);
- применении уравнения Бернулли, учитывающего течение реальной жидкости и гидравлические сопротивления в гидросистеме.

Причем для большинства практических инженерных расчетов в уравнении Бернулли можно пренебрегать геометрическим и скоростным напорами ввиду их малости.

Рассмотрим схему простейшего объемного гидропривода (рисунок 11.2).

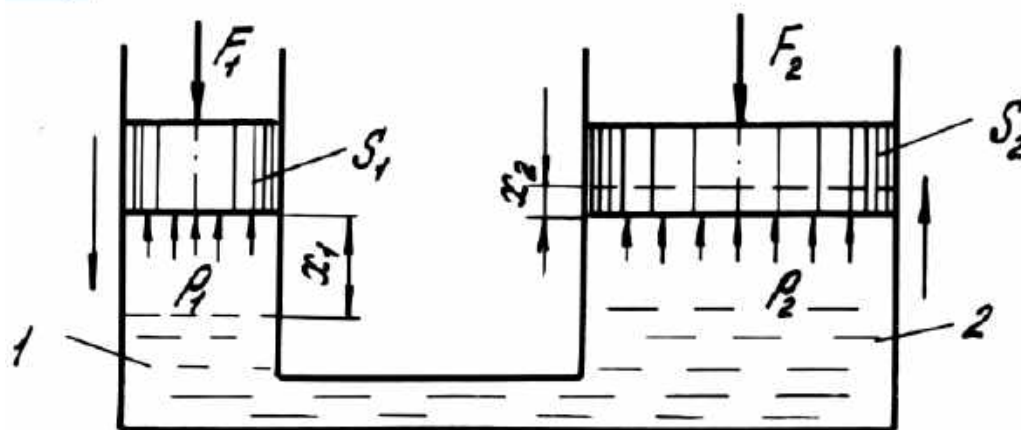


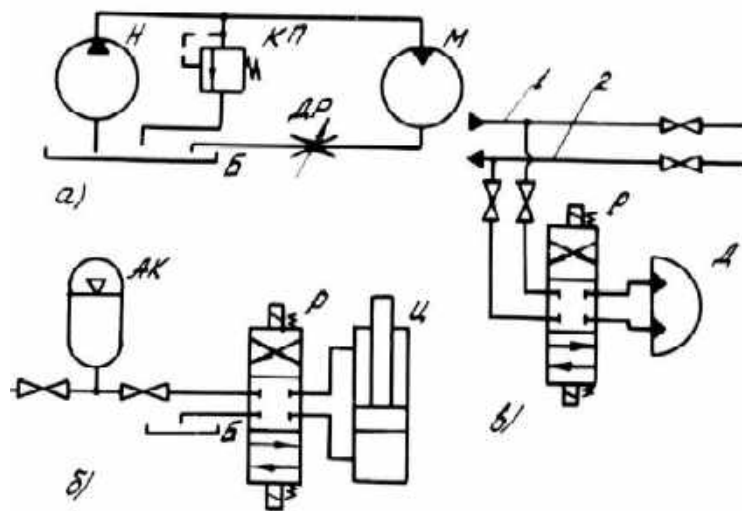
Рисунок 11.2 - Принципиальная схема простейшего объемного гидропривода

На поршень цилиндра 1 (входное звено) действует сила F_1 , на поршень цилиндра 2 (выходное звено) – внешняя нагрузка F_2 . При перемещении поршня в цилиндре 1 рабочая жидкость из него вытесняется в цилиндр 2, приводя его поршень в движение.

В соответствии с законом Паскаля (в идеальных условиях) давление $p_1 = F_1/S_1$ в цилиндре 1 и давление p_2 в цилиндре 2 будут одинаковыми.

Так как жидкость считается несжимаемой, то вытесняемые объемы жидкости в цилиндрах 1 ($x_1 \cdot S_1$) и 2 ($x_2 \cdot S_2$) так же будут одинаковыми.

По виду источника подачи рабочей жидкости гидроприводы разделяют на насосные (рис. 11.3, а), аккумуляторные (рис. 11.3, б), магистральные (рис. 11.3, в), безнасосные.



а – насосный; б – аккумуляторный; в – магистральный

Рисунок 11.3 - Принципиальные схемы объемных гидроприводов:

В насосном гидроприводе рабочая жидкость подается в гидродвигатель (гидромотор) М насосом Н, входящим в состав этого привода. Насосные гидроприводы получили наибольшее применение.

В аккумуляторном гидроприводе рабочая жидкость от пневмоаккумулятора АК поступает в гидродвигатель, в данном случае в гидроцилиндр Ц. Пневмоаккумулятор АК предварительно заряжен от внешнего источника, не входящего в состав гидропривода.

В магистральных гидроприводах рабочая жидкость поступает в гидродвигатель, в данном случае в поворотный гидродвигатель, по напорной гидролинии 1, а отводится по сливной гидролинии 2. В гидролинию 1 рабочая жидкость подается от отдельной насосной станции, обслуживающей несколько гидроприводов, которые не связаны между собой

По характеру движения выходного звена различают следующие гидроприводы: поступательного, вращательного, поворотного движения. В гидроприводе поступательного движения объемным гидродвигателем является гидроцилиндр (рисунок 11.3, б), в гидроприводе вращательного движения (рисунок 11.3, а) – гидромотор М, в гидроприводе поворотного движения (рисунок 1.3, в) – поворотный гидродвигатель.

По возможности регулирования объемные гидроприводы подразделяют на регулируемые и нерегулируемые.

Регулируемым называют гидропривод, в котором скорость движения выходного звена (регулируемый параметр) гидродвигателя может изменяться по заданному закону или желанию оператора. Эти гидроприводы дополнительно подразделяют:

- по конструкции регулирующего устройства – с объемным или дроссельным регулированием;
- способу регулирования – с автоматическим и ручным регулированием; - - задачам регулирования – стабилизированные, программные и следящие.

В гидроприводах с дроссельным регулированием скорость движения выходного звена гидродвигателя изменяется с помощью регулирующих гидроаппаратов (дросселей), а в гидроприводах с объемным (машинным) регулированием – с помощью регулируемых гидромашин.

В стабилизированном гидроприводе скорость движения выходного звена поддерживается постоянной, в программном гидроприводе – изменяется по заранее заданной программе, а в следящем гидроприводе изменяется по определенному закону в зависимости от внешнего воздействия, величина которого заранее неизвестна.

Регулирование скорости движения выходного звена может быть ступенчатым и бесступенчатым. Ступенчатое регулирование осуществляется ступенчатым изменением подачи (расхода) рабочей жидкости. Например, последовательным включением или отключением нескольких насосов постоянной производительности.

Бесступенчатое регулирование осуществляется регулируемым насосом или гидродвигателем (объемное регулирование), дроссельным регулированием, а также комбинированным способом.

Нерегулируемые гидроприводы имеют постоянную скорость движения выходных звеньев гидродвигателей.

По виду циркуляции рабочей жидкости различают гидроприводы с замкнутой и разомкнутой циркуляцией рабочей жидкости.

В гидроприводе с замкнутой циркуляцией рабочая жидкость от гидродвигателя поступает непосредственно во всасывающую гидролинию насоса.

Преимуществами такого гидропривода являются:

- уменьшение объема рабочей жидкости;
- компактность из-за отсутствия гидробаков;
- возможность применения реверсивных насосов для изменения направления движения выходного звена гидродвигателя;
- наличие систем подпора рабочей жидкости улучшает условия всасывания насоса и обеспечивает высокую равномерность движения выходного звена гидродвигателя;
- хорошие условия защиты рабочей жидкости и элементов гидропривода от попадания в неё загрязняющих частиц из внешней среды;
- возможность установки фильтра на всасывающей гидролинии насоса;
- улучшаются условия работы жидкости в гидросистеме за счёт уменьшения количества растворённого воздуха или газа.

Недостаток гидропривода с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости – сложность её охлаждения.

В гидроприводе с разомкнутой циркуляцией (рисунок 11.3а) рабочая жидкость от гидродвигателя поступает в гидробак.

Преимущества такого гидропривода:

- хорошие условия для естественного охлаждения рабочей жидкости в гидробаке;
- возможность работы нескольких гидродвигателей от одного насоса.

К недостаткам гидропривода с разомкнутой циркуляцией следует отнести ненадёжную защиту рабочей жидкости от попадания в неё загрязняющих частиц из внешней среды, возможность проникновения воздуха в гидросистему.

Основными параметрами объемного гидропривода являются: давление p , расход Q (для насосов – подача), мощность N , полный КПД η и выходные параметры гидродвигателей исполнительного механизма: величины крутящих моментов и скоростей вращения вала – для гидромоторов (и поворотных гидродвигателей); значения усилий на штоках и скоростей перемещения штоков – для гидроцилиндров.

Давление может быть номинальным, максимальным и рабочим. Под номинальным понимается давление, при котором гидрооборудование работает в течение заданного срока службы с сохранением параметров в пределах установленных норм.

Под максимальным давлением понимается наибольшее давление, при котором допускается кратковременная работа гидрооборудования. На максимальное давление настраивается предохранительный клапан.

Рабочее давление – текущее фактическое давление, существующее в гидросистеме при наличии определённого сопротивления.

Гидравлические приводы широко применяются во многих отраслях техники, где позволяют решать целый ряд задач, связанных с механизацией и автоматизацией трудоёмких процессов (рис. 11.4).



Рисунок 11.4 – Область применения гидропривода

Большинство мобильных машин имеют гидроприводы, что обусловлено простотой и удобством управления, независимым расположением узлов привода, надёжным предохранением привода от перегрузок, простотой реверсирования и взаимного преобразования вращательного и поступательного движений приводных и исполнительных механизмов, а также сравнительно малой массой и габаритами.

Применение следящего гидропривода, например, в экскаваторах, позволяет, кроме того, резко увеличить эффективность планировочных работ, так как в этом случае исключаются дорогостоящие ручные операции.

В последние годы изменилась тенденция использования гидроприводов в гидравлических ударных устройствах – новом виде рабочего оборудования активного действия для строительно-дорожных машин, и активной виброзащиты водителей тракторов и транспортных машин.

Большое распространение гидропривод получил в системах самолётов и ракет: для управления аэродинамическими и газовыми рулями, в механизмах изменения геометрии крыла, для механизации управления шасси и в наземных установках обеспечения и запуска летательных аппаратов.

Широко используется гидропривод в сельскохозяйственных машинах, как в системах рулевого управления комбайнами, тракторами, так и в системах управления навесными орудиями.

В станкостроении гидропривод применяется в большинстве автоматических линий и копировальных станков. В кузнечнопрессовом оборудовании – в качестве силовых приводов и молотов; в водном транспорте – в качестве силовых приводов гребных установок, для поворота рулей судов и в других механизмах.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Галдин Н.С. Гидравлические машины, объемный гидропривод: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 272 с.
 2. Ефимова, С. Г. Гидравлика, гидро- и пневмопривод : учебное пособие / С. Г. Ефимова, В. Т. Чупров ; Сыкт. лесн. ин-т. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – 84 с.
- ЛЕКЦИЯ №12 ОБЪЕМНЫЕ ГИДРОМАШИНЫ

Гидравлической машиной (гидромашиной) называется машина, предназначенная для преобразования механической энергии в энергию движущейся жидкости или наоборот.

В зависимости от вида преобразования энергий гидромашины делятся на насосы и гидродвигатели (рис. 12.1).



Рисунок 12.1 – Классификация гидромашин

Насос – это гидромашина для создания потока рабочей жидкости путем преобразования механической энергии в энергию движущейся жидкости.

Гидродвигатели служат для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена гидромашины.

По принципу действия гидромашины делятся на два класса: динамические и объемные. Преобразование энергии в динамических гидромашинах происходит при изменении количества движения жидкости.

В объемных гидромашинах энергия преобразуется в результате периодического изменения объема рабочих камер, герметично отделенных друг от друга.

Динамический насос устроен так, что жидкость в нем перемещается под силовым воздействием на нее в камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса.

В объемных насосах жидкость перемещается за счет периодического изменения объема занимаемой ее камеры, попеременно сообщаемой с входом и выходом насоса.

Объемные гидромашины характеризуются рядом параметров, основными из которых являются: давление p , подача (расход) Q , рабочий объем q , мощность N , частота вращения вала n , полный КПД η .

Термин "подача" введен для насосов, термин "расход" – для гидродвигателей.

Объемной подачей называется объем рабочей жидкости, проходящей через гидромашину в единицу времени. Объемную теоретическую подачу определяют по формуле

$$Q_T = qn_n \quad (1)$$

где Q_T – теоретическая подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

q – рабочий объем насоса, $(\text{м}^3/\text{об})$;

n_n – частота вращения вала насоса, с^{-1}

При работе насоса не весь теоретически вытесненный объем жидкости поступает в напорную гидролинию, так как часть жидкости теряется вследствие утечек и перетечек по зазорам в рабочей камере. Таким образом, действительная подача насоса меньше теоретической.

Подача насоса Q_n при увеличении давления нагнетания p_n уменьшается, что объясняется увеличением объемных потерь ΔQ в насосе.

Коэффициент подачи k_Q определяют как отношение действительной подачи насоса Q_n к теоретической Q_T :

$$k_Q = \frac{Q_n}{Q_T} = \frac{Q_T - \Delta Q}{Q_T} \quad (2)$$

Перепадом давления на насосе (рабочим давлением насоса) называется разность давлений нагнетания (на выходе из насоса) и всасывания (на входе в насос):

$$\Delta p = p_{\text{вых}} - p_{\text{вх}}$$

где Δp - перепад давления на насосе;

$p_{\text{вых}}$ – давление на выходе из насоса;

$p_{\text{вх}}$ – давление на входе в насос.

Различают полезную (выходную) и потребляемую (входную) мощности гидромашины. Полезная мощность насоса представляет собой энергию, которая сообщается жидкости в единицу времени и определяется параметрами потока рабочей жидкости:

$$N_{\text{НП}} = \Delta p_n Q_n$$

где $N_{\text{НП}}$ – полезная мощность насоса, Вт;

Δp_n – перепад давления на насосе, Па,

Q_n – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$.

Мощность, потребляемая насосом (мощность насоса), определяется по формуле

$$N_H = M_n \omega_n = M_n 2\pi n_n$$

где N_H – мощность насоса, Вт;

M_n – крутящий момент на валу насоса, Нм;

ω_n – угловая скорость вращения вала насоса, с^{-1} ;

n_n – частота вращения вала насоса, с^{-1} .

Рассмотрим полезную и потребляемую мощности для гидродвигателей. Для гидромотора полезная мощность определяется выражением

$$N_{МП} = M_{\text{м}} \omega_{\text{м}} = M_{\text{м}} 2\pi n_{\text{м}}$$

где $N_{МП}$ – мощность насоса, Вт;

$M_{\text{м}}$ – крутящий момент на валу насоса, Нм;

$\omega_{\text{м}}$ – угловая скорость вращения вала насоса, с⁻¹;

$n_{\text{м}}$ – частота вращения вала насоса, с⁻¹.

Мощность, потребляемая гидромотором, определяется по формуле

$$N_{\text{м}} = \Delta p_{\text{м}} Q_{\text{м}} = \Delta p_{\text{м}} q_{\text{м}} n_{\text{м}}$$

где $N_{\text{м}}$ – полезная мощность насоса, Вт;

$\Delta p_{\text{м}}$ – перепад давления на насосе, Па,

$Q_{\text{м}}$ – расход мотора, м³/с.

Полезная мощность гидроцилиндра определяется выражением

$$N_{\text{цп}} = FV$$

где $N_{\text{цп}}$ – полезная мощность, развиваемая гидроцилиндром, Вт;

F – усилие на штоке, Н;

V – скорость движения штока, м/с.

Мощность, потребляемая гидроцилиндром, определяется параметрами потока рабочей жидкости по формуле

$$N_{\text{ц}} = \Delta p_{\text{ц}} Q_{\text{ц}}$$

где $N_{\text{ц}}$ – мощность гидроцилиндра, Вт;

$\Delta p_{\text{ц}}$ – перепад давления на гидроцилиндре, Па;

$Q_{\text{ц}}$ – расход жидкости, м³/с.

В общем виде полный КПД гидромашины определяется отношением мощности на выходе (полезной) к мощности на входе (потребляемой):

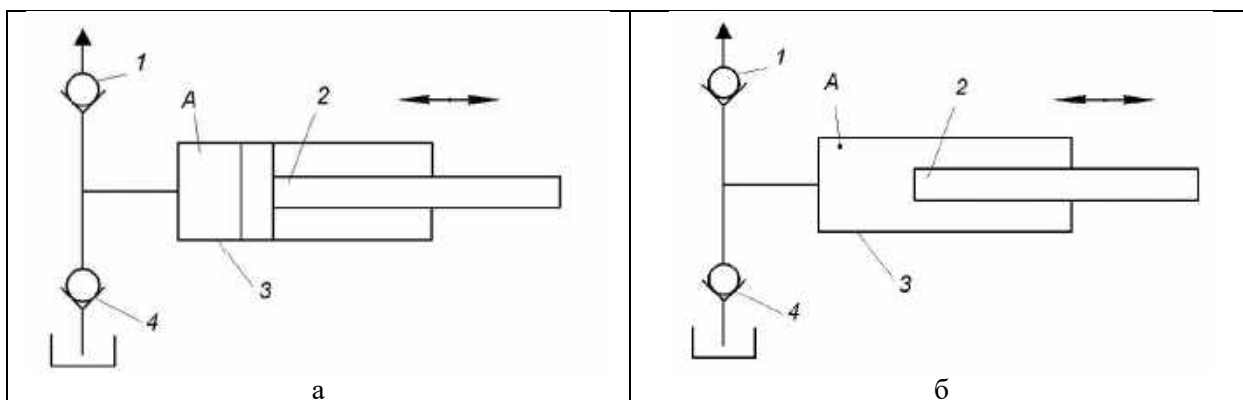
$$\eta = \frac{N_{\text{вых}}}{N_{\text{вх}}}$$

Полный КПД гидромашины представляет собой произведение трех частных КПД

$$\eta = \eta_{\text{з}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{ц}}$$

Для перекачивания жидкости применяют **поршневые насосы** (рисунок 12.2а, б), принцип действия которых основан на перемещении жидкости под действием вытеснителя,двигающегося возвратно-поступательно относительно неподвижной рабочей камеры.

Рабочий цикл насоса состоит из двух фаз: всасывания и нагнетания. Возвратно-поступательное движение вытеснителей (поршней, плунжеров, диафрагм и т.д.) чаще всего осуществляется посредством кривошипно-шатунного механизма, но применяются и другие механизмы (кулачковые, эксцентриковые и т.п.).

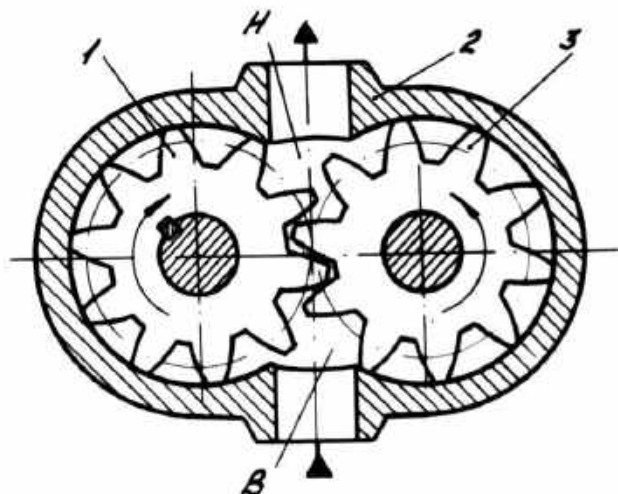


а) поршневой, 1, 4 – обратные клапаны; 2 – вытеснитель (поршень); 3 – цилиндр; А – рабочая камера. б) – плунжерный, 1, 4 – обратные клапаны; 2 – вытеснитель (плунжер); 3 – цилиндр; А – рабочая камера

Рисунок 12.2 – Насосы

Шестеренные гидромашины имеют рабочие камеры, образованные рабочими поверхностями зубчатых колес, корпуса и боковых крышек, а вытеснители совершают только вращательное движение. Эти машины просты по конструкции, содержат малое число деталей, технологичны и получили широкое распространение.

Наибольшее распространение получил шестеренный насос с внешним зацеплением и одинаковым числом зубьев эвольвентного профиля (рисунок 12.3).



1 – ведущая шестерня (ротор); 2 – корпус (статор); 3 – ведомая шестерня (вытеснитель)

Рисунок 12.3 Шестеренчатый насос

Такой насос состоит из пары сцепляющихся между собой шестерен 1 (ротора) и 3 (вытеснителя), помещенных в корпус (статор) 2 с каналами для подвода и отвода жидкости.

Шестеренные насосы способны создавать давление до 10...16 МПа, а иногда и выше (до 20 МПа). Однако при давлении больше 10 МПа необходимо предусматривать устройство для компенсации зазоров по торцам шестерен.

Рабочий объем шестеренного насоса определяется по формуле

$$q = 2\pi m^2 (z + 1)b$$

где m – модуль зубчатого зацепления;

z – число зубьев шестерни, $z = 6...16$;

b – ширина шестерни.

$$m = P/z$$

где P – шаг зубьев.

Корпуса шестеренных насосов изготавливают из чугуна, стали или алюминия. Для изготовления шестерен используют легированные стали (20Х, 40Х, 18НХ13А и др.). Боковые

крышки выполняют, как и корпуса, из чугуна и стали, иногда из бронзы. Общий вид насоса НШ 32... представлен на рис. 12.4.

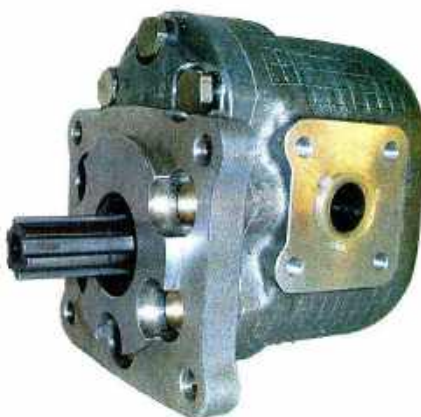
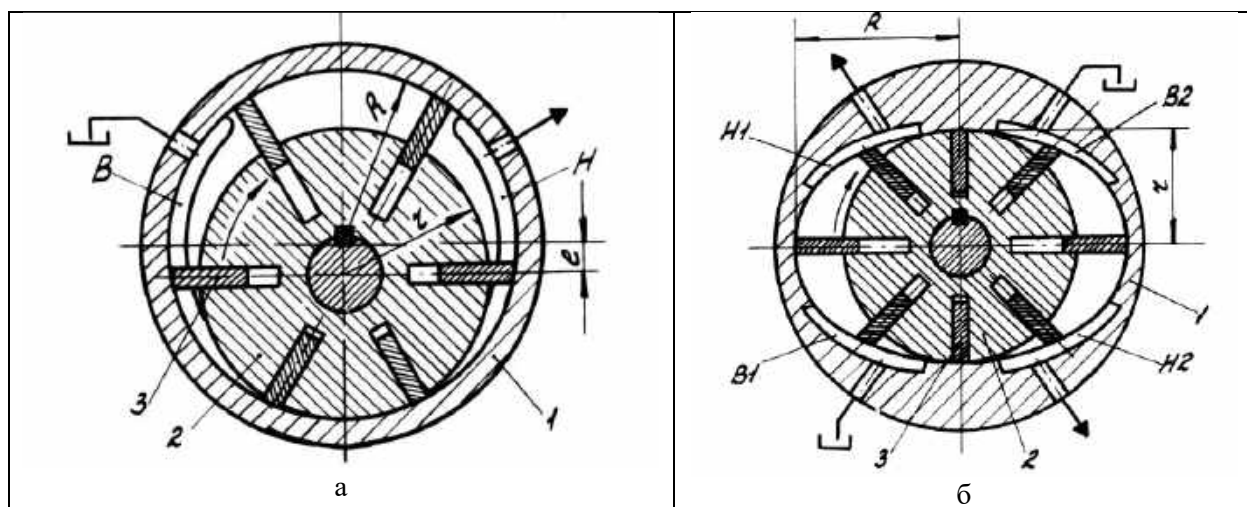


Рисунок 12.4 – Насос НШ

Рабочие камеры пластинчатых гидромашин образованы рабочими поверхностями ротора, статора (корпуса), двух смежных пластин (вытеснителей) и боковых крышек. Пластинчатые гидромашин разделяются на машины одно-, двух- и многократного действия. В насосах однократного действия за один оборот ротора насос подает в напорную гидролинию один объем рабочей жидкости, в насосах двухкратного действия – два объема и т.д.

Пластинчатый насос однократного действия (рис. 12.5, а) состоит из статора 1, ротора 2 с радиальными или наклонными (для насосов одностороннего вращения) пазми, в которых расположены пластины 3 (вытеснители). Ось вращения ротора смещена относительно расточки статора на величину эксцентриситета. На боковых крышках корпуса имеются два окна В и Н, соединенные со всасывающей и напорной гидролиниями.



а – однократного действия; б – двукратного действия; 1 – статор (корпус); 2 – ротор; 3 – пластина (вытеснитель)

Рисунок 12.5 – Пластинчатый насос

Рабочий объем пластинчатого насоса однократного действия зависит от радиусов статора R и ротора r , которые связаны с эксцентриситетом, и определяется по формуле

$$q = 2e(\pi D - \delta z)b$$

где e – эксцентриситет, $e = R - r$;

D – диаметр статора, $D=2R$;

δ – толщина пластины;

z – число пластин;

b – ширина пластины.

Рабочий объем насоса регулируют, изменяя эксцентриситет. Путем смещения статора можно получать различные значения эксцентриситета по обе стороны от ротора, что позволяет осуществлять реверс подачи насоса. Из-за разности давлений в полостях нагнетания и всасывания на ротор и его опоры (подшипники) действует радиальная сила, которая определяется по формуле

$$F_p = \Delta p D b$$

Рабочий объем пластинчатого насоса двукратного действия определяется по формуле

$$q = 2\pi b(R^2 - r^2)$$

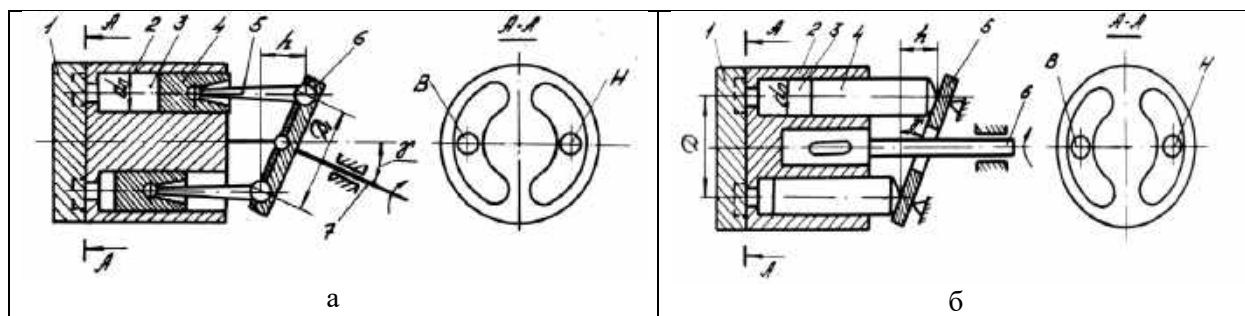
где R – большая полуось статора;

r – радиус статора,

b – ширина пластин

Аксиально-поршневые гидромашины относятся к роторно-поршневым гидромашинам с пространственной кинематикой, в которых вращательное движение вала (для насосов) преобразуется в возвратно-поступательное движение поршней (вытеснителей).

У этих гидромашин рабочие камеры образованы рабочими поверхностями цилиндров и поршней, а оси поршней параллельны (аксиальны) оси блока цилиндров (ротору) или составляют с ней угол не более 45° . По кинематическим схемам, заложенным в основу конструкции, аксиально-поршневые гидромашины разделяют на гидромашины с наклонным блоком цилиндров и с наклонным диском (рисунок 12.6).



а – с наклонным блоком: 1 – распределительный диск; 2 – блок цилиндров; 3 – рабочая камера; 4 – поршень (вытеснитель); 5 – шатун; 6 – упорный фланец; 7 – приводной вал

б – с наклонным диском: 1 – распределительный диск; 2 – блок цилиндров; 3 – рабочая камера; 4 – поршень (вытеснитель); 5 – наклонный диск; 6 – приводной вал

Рисунок 12.6 – Аксиально-поршневой насос

На рис. 12.6, а показана схема аксиально-поршневого насоса с наклонным блоком цилиндров. Насос состоит из неподвижного распределительного диска 1, имеющего два серпообразных канала, соединенных со всасывающей В и напорной Н гидролиниями.

Внутри вращающегося блока цилиндров 2 расположены рабочие камеры 3, образованные поверхностями цилиндров и перемещающихся поршней 4. Поршни шарнирно соединены шатунами 5 с упорным фланцем 6, который вращается вместе с приводным валом 7.

При совместном вращении вала 7 и блока цилиндров 2 вокруг своих осей поршни 4, вращаясь вместе с блоком, совершают возвратно-поступательное движение относительно цилиндров. За один оборот вала каждый поршень насоса совершает один двойной ход.

В результате этого каждый поршень в течение одной половины оборота освобождает некоторое пространство внутри цилиндра, и рабочая камера заполняется жидкостью из всасывающей гидролинии В. Происходит цикл всасывания. В течение следующей половины оборота поршень вытесняет жидкость из рабочей камеры в напорную гидролинию Н. Происходит цикл нагнетания. Рабочий объем аксиально-поршневого насоса с наклонным блоком характеризуется суммарным объемом жидкости, вытесняемой поршнями за один оборот вала, и определяется по формуле

$$q = \frac{\pi d_n^2}{4} z h = \frac{\pi d_n^2}{4} z D_1 \sin \gamma \quad (1)$$

где d_n – диаметр поршня;

z – число всех поршней;

h – максимальный ход поршня; $h = D_1 \sin \gamma$, здесь D_1 – диаметр окружности упорного фланца, на котором расположены центры шаровых шарниров шатунов; $\sin \gamma$ – угол наклона оси блоков цилиндров к оси приводного вала, обычно $\sin \gamma = 15...25^\circ$ (иногда до 40°).

Из формулы (1) видно, что рабочий объем насоса зависит от угла наклона блока цилиндров. Изменяя угол наклона блока цилиндров, можно изменять рабочий объем, а, следовательно, и подачу насоса. Чем больше угол $\sin \gamma$, тем больше рабочий объем и подача насоса.

В гидромашинах с наклонным диском (рис. 12.6б) блок цилиндров (ротор) 2 соосен с приводным валом 6 и вращается вместе с ним, а поршни (плунжеры) 4 опираются на неподвижный наклонный диск (шайбу) 5, благодаря чему совершают возвратно-поступательное движение.

При этом происходит всасывание жидкости при выдвижении поршней 4 из блока цилиндров 2 и вытеснение жидкости при движении поршней в блок цилиндров. Для подвода и отвода жидкости к рабочим камерам 3 в неподвижном торцевом распределительном диске 1 выполнены два серпообразных канала, соединенных со всасывающей В и напорной Н гидролиниями.

Для обеспечения движения поршней во время цикла всасывания применяется принудительное прижатие их к наклонному диску пружинами или давлением жидкости. Рабочий объем аксиально-поршневого насоса с наклонным диском определяется по формуле

$$q = \frac{\pi d_n^2}{4} zh = \frac{\pi d_n^2}{4} z D t g \gamma \quad (2)$$

где d_n – диаметр поршня;

z – число всех поршней;

h – максимальный ход поршня; $h = D t g \gamma$, здесь D – диаметр окружности блока, на котором расположены оси цилиндров; γ – угол наклона диска. обычно $\gamma = 20...25^\circ$.

Аксиально-поршневые гидромашины стали одними из самых применяемых в гидроприводах мобильных машин и стационарном оборудовании благодаря следующим преимуществам:

- более высокому полному КПД (0,85...0,94) по сравнению с КПД шестеренных и пластинчатых гидромашин;
- работоспособности при высоком давлении в пределах 20...32 МПа (до 40...50 МПа);
- возможности регулировать рабочий объем за счет наклона диска или блока цилиндров;
- широкому диапазону рабочих объемов – от 0,5 см³/об до 30 дм³/об;
- высокой всасывающей способности насосов, обеспечивающей возможность их эксплуатации в гидросистемах с открытой циркуляцией рабочей жидкости;
- широкому диапазону частоты вращения – от 1 до 6000 об/мин;
- длительным срокам службы – до 10000...12000 ч;
- низкому уровню шума;
- достаточно высоким удельным показателям и др.

Однако у них сложная кинематика, много прецизионных деталей, поэтому они сложны в изготовлении, имеют высокую стоимость и предъявляют повышенные требования к тонкости фильтрации рабочей жидкости. Общий вид представлен на рисунке 12.7

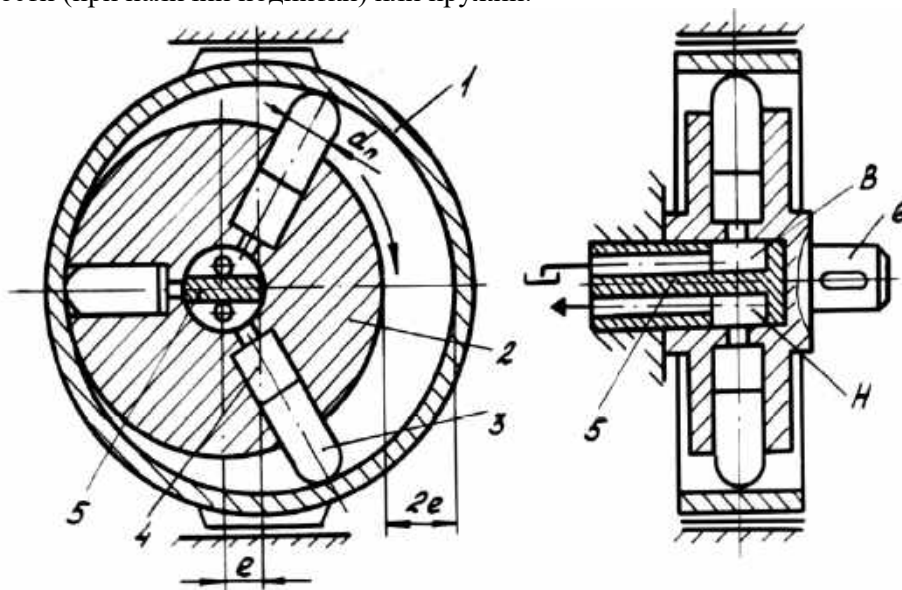


Рисунок 12.7 – Аксиально-поршневой мотор серии 210Г

Радиально-поршневой гидромашину называют роторнопоршневую гидромашину, у которой рабочие камеры образованы рабочими поверхностями цилиндров и поршней, а оси поршней расположены перпендикулярно оси блока цилиндров (ротору) или составляют с ней угол более 45° .

Конструктивная схема радиально-поршневого насоса однократного действия показана на рисунке 12.8. Статор (корпус) 1 расположен эксцентрично относительно ротора 2.

Ротор 2 с поршнями (вытеснителями) 3 составляет блок цилиндров. Внутри вращающегося ротора расположены рабочие камеры 4, образованные поверхностями цилиндров и перемещающихся поршней 3. Оси цилиндров расположены в одной плоскости и пересекаются в одной точке, через которую проходит ось вращения ротора. Распределение жидкости осуществляется неподвижным цапфенным распределителем 5, в котором В – всасывающая и Н – напорная полости. Приводной вал 6 жестко связан с ротором 2. При вращении ротора 2, например, по часовой стрелке, поршни 3 совершают сложное движение – они вращаются вместе с ротором и движутся возвратно-поступательно относительно ротора. Поршни постоянно находятся в подвижном контакте с внутренней поверхностью статора под действием центробежных сил, сил давления жидкости (при наличии подпитки) или пружин.



1– статор (корпус); 2– блок цилиндров (ротор); 3– поршень (вытеснитель); 4 – рабочая камера;
5 – цапфенный распределитель; 6 – приводной вал
Рисунок 12.8 – Радиально-поршневой насос

Рабочие камеры 4 поочередно соединяются с линиями всасывания и нагнетания с помощью цапфенного распределителя 5. В течение одной половины оборота происходит всасывание рабочей жидкости, в течение следующей половины оборота – нагнетание рабочей жидкости в напорную гидрولينию.

Рабочий объем радиально-поршневого насоса зависит от хода поршней, их количества, диаметра поршня и определяется по формуле

$$q = \frac{\pi d_n^2}{4} z z_p h$$

где d_n – диаметр поршня;

z – число всех поршней в одном ряду;

z_p – число рядов поршней,

$z_p = 1 \dots 3$;

h – полный ход поршня, $h = 2e$, здесь e – эксцентриситет.

Так как эксцентриситет e определяет ход поршня, то изменением эксцентриситета регулируют рабочий объем, а следовательно, и подачу насоса

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Галдин Н.С. Гидравлические машины, объемный гидропривод: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 272 с.

2. Ефимова, С. Г. Гидравлика, гидро- и пневмопривод : учебное пособие / С. Г. Ефимова, В. Т. Чупров ; Сыкт. лесн. ин-т. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – 84 с.

ЛЕКЦИЯ №13 ГИДРОМОТОРЫ И ГИДРОЦИЛИНДРЫ

Гидромоторы предназначены для преобразования энергии движущейся жидкости в механическую энергию вращения исполнительного органа различных машин и механизмов.

Основным требованием при выборе гидромотора является обеспечение исполнительным органом машины необходимого крутящего момента M_m и частоты вращения n_m .

Питание гидромотора производится либо от общей гидросистемы, либо индивидуальным насосом. Реверсирование направления движения (вращения) гидромотора осуществляется либо с помощью распределителя, либо реверсированием направления подачи насоса. Скорость вращения вала гидромотора регулируется изменением количества поступающей к нему жидкости или изменением рабочего объема гидромотора, что видно из выражения

$$Q_m = q_m n_m$$

где Q_m – расход жидкости через гидромотор, $м^3/с$;

q_m – рабочий объем гидромотора, $м^3$;

n_m – частота вращения вала гидромотора, $с^{-1}$.

Обычно в качестве гидромоторов используются объемные роторные гидромашины. Гидромоторы конструктивно мало отличаются от роторных насосов.

По величине крутящего момента и частоты вращения вала гидромоторы можно разделить на две группы: низкомоментные и высокомоментные. Низкомоментные гидромоторы характеризуются развитием небольшого крутящего момента (10...60 Н·м) и больших частот вращения (60...3000 об/мин). Высоккомоментные гидромоторы развивают большой крутящий момент (500...100000 Н·м) при небольших частотах вращения (до 400 об/мин).

Высоккомоментные гидромоторы в основном предназначены для использования без промежуточного звена (редуктора) с целью уменьшения массы, габаритов машины, улучшения динамических характеристик объемного гидропривода.

В качестве низкомоментных гидромоторов в большинстве случаев используют аксиально-поршневые, реже шестеренные и пластинчатые гидромашины.

В качестве высокомоментных гидромоторов в основном используют радиально-поршневые, аксиально-поршневые гидромашины.

Для условного разграничения низкомомментных и высокомомментных гидромоторов часто используют так называемый коэффициент быстроходности:

$$k_{\delta} = \frac{q_m}{n_m}$$

где k_{δ} – коэффициент быстроходности;

q_m – рабочий объем, см³;

n_m – номинальная частота вращения вала гидромотора, об/мин.

Гидромоторы, у которых $k_{\delta} > 1$, как правило, относят к низкомомментным, а при $k_{\delta} < 1$ – к высокомомментным. Следует отметить, что коэффициент быстроходности является все же условной величиной.

Целесообразность применения в приводах вращательного движения низкомомментных или высокомомментных гидромоторов определяется в каждом конкретном случае отдельно, исходя из требований к приводу машины. Если пренебречь потерями мощности, то можно определить рабочий объем гидромотора:

$$q_m = \frac{M_m 2\pi}{\Delta p_m}$$

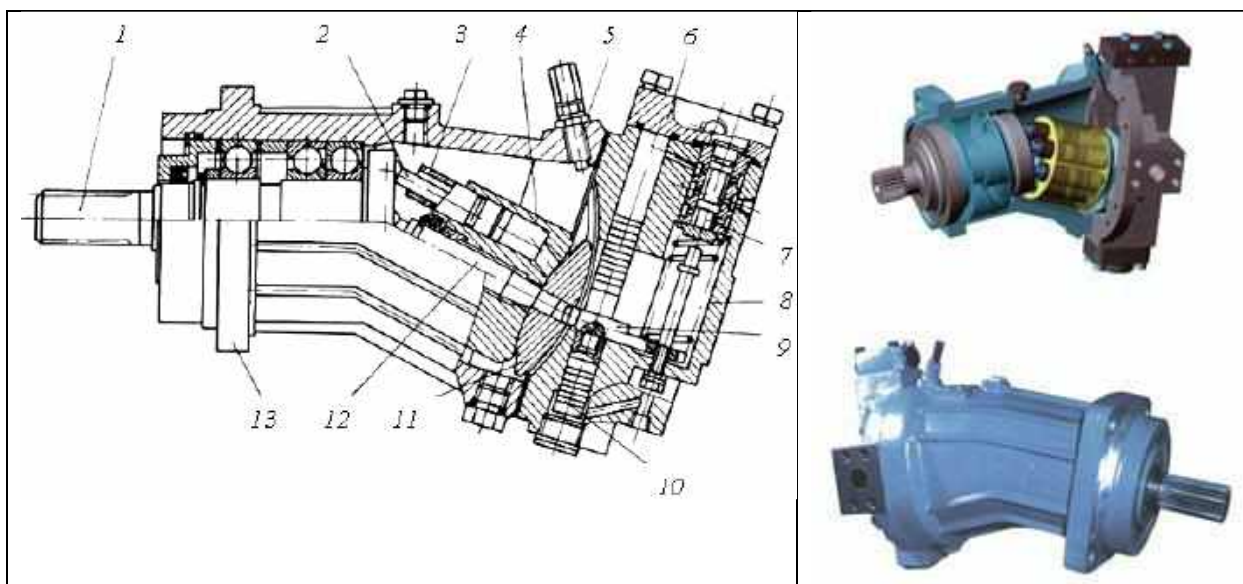
Каждый конструктивный вид гидромотора (шестеренные, поршневые, пластинчатые) имеют свои особенности и недостатки.

Шестеренные гидромоторы отличаются простотой и технологичностью, хорошими массовыми и габаритными показателями, могут работать при высокой (до 2400 об/мин) частоте вращения. Для работы шестеренных гидромоторов не требуется высокая степень очистки рабочей жидкости. К недостаткам следует отнести невысокий полный КПД (0,78...0,80), большие пусковые моменты, небольшой диапазон частот вращения, связанный с высоким нижним пределом (150...300 об/мин).

Пластинчатые гидромоторы, несмотря на отличные массовые и габаритные показатели, малый момент инерции, незначительную пульсацию момента, находят ограниченное применение, что связано с низким (до 6,3 МПа) давлением, высокой (100...150 об/мин) минимальной частотой вращения и низким КПД (~ 0,8). Последнее вызвано наличием трения скольжения основных рабочих элементов и трудностью уплотнения пластин.

Аксиально-поршневые гидромоторы отличаются от других типов возможностью надежного уплотнения рабочей камеры, что позволяет работать при высоком (до 32 МПа и выше) давлении и с высоким КПД (>0,90).

Аксиально-поршневой регулируемый гидромотор типа 303... (рисунок 13.1) состоит из вала 1, корпуса 13, внутри которого расположен блок цилиндров (ротор) 4, шатуны 2, поршни (вытеснители) 3, цапфа 12, торцовый сферический распределитель 11. К корпусу 13 крепится корпус регулятора 8 с крышкой 6. В корпусе регулятора находятся золотник 7, палец 9, установочный поршень 10. Наклон блока цилиндров 4 осуществляется перемещением торцевого сферического распределителя 11, на который опирается блок цилиндров 4 по сферической направляющей. Такое конструктивное решение позволяет значительно уменьшить габариты регулируемой аксиально-поршневой гидромашины.

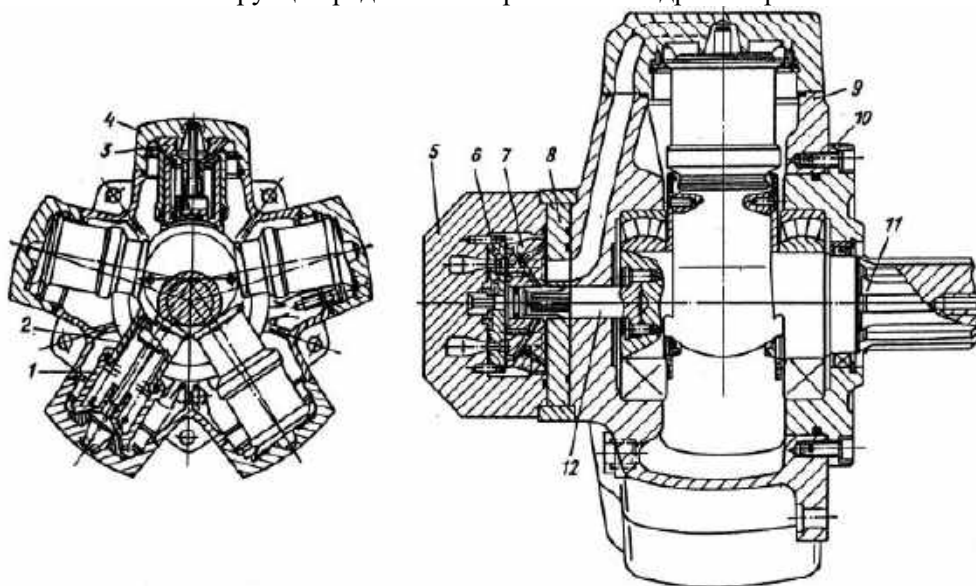


1 – вал; 2 – шатун; 3 – поршень; 4 – блок цилиндров (ротор);
 5 – ограничительный винт; 6 – крышка; 7 – золотник; 8 – корпус регулятора; 9 – палец; 10 –
 установочный поршень; 11 – распределитель;
 12 – цапфа; 13 – корпус

Рисунок 13.1 – Гидромотор типа 303

Высокомоментные гидромоторы типа МР работают при давлении до 25 МПа с высоким КПД ($>0,85$) и используются для привода поворотной части экскаваторов, кранов, ходовой части, а также рабочих органов, лебедок строительных, дорожных мелиоративных, коммунальных и других машин.

На рис. 13.2 показана конструкция радиально-поршневого гидромотора МР.



1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – сегмент сферический; 4 – крышка цилиндра; 5 – крышка распределителя; 6 – кольцо упорное; 7 – распределитель; 8 – тарелка распределителя; 9 – корпус гидромотора; 10 – крышка; 11 – вал эксцентриковый; 12 – валик поводковый

Рисунок 13.2 – Радиально поршневой мотор

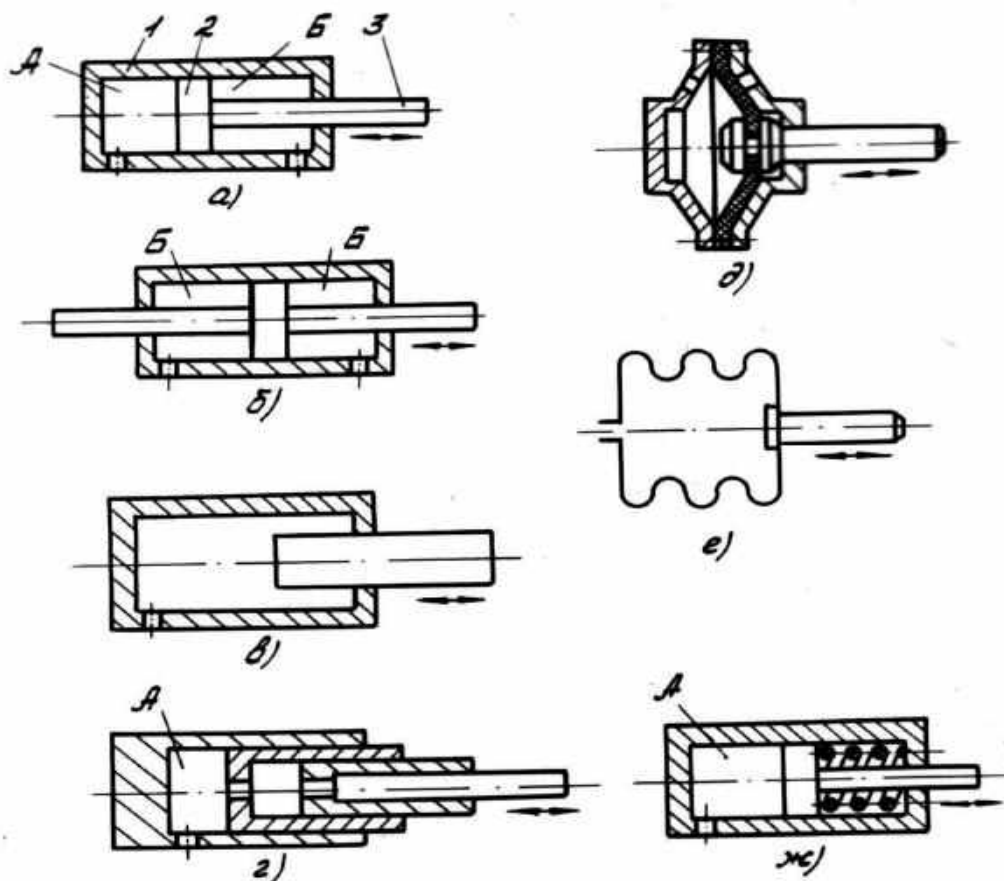
В расточках корпуса 9 и крышки 10 на двухрядных роликовых подшипниках установлен эксцентриковый вал 11 со сферической поверхностью, на которую опираются пять полых поршней 2, перемещающихся в цилиндрах 1.

Поршни телескопически соединены с цилиндрами, имеющими также сферические поверхности, которыми они упираются в сферические сегменты 3. Сегменты установлены в крышках цилиндров 4, соединенных с корпусом 9.

Центр сферы сегмента находится на геометрической оси цилиндра, проходящей через центр эксцентрикового вала. Поршень совершает возвратно-поступательное движение по направляющему стержню.

Гидравлические цилиндры (силовые гидроцилиндры) предназначены для преобразования энергии движущейся жидкости в механическую энергию поступательного движения выходного звена.

В зависимости от конструкции рабочей камеры гидроцилиндры подразделяются (рисунок 13.3) на поршневые, плунжерные, телескопические и сильфонные.



а – поршневой двустороннего действия с односторонним штоком: 1 – цилиндр (корпус); 2 – поршень; 3 – шток; б – поршневой двустороннего действия с двусторонним действием: в – плунжерный; г – телескопический одностороннего действия; д – мембранный двустороннего действия; е – сильфонный одностороннего действия; ж – поршневой одностороннего действия

Рисунок 13.3 – Виды гидроцилиндров

Гидравлические цилиндры (гидроцилиндры) – это гидродвигатели с возвратно-поступательным движением выходного звена. Благодаря своей конструктивной простоте, возможности реализации значительных усилий, малой стоимости, высоким удельным показателям и надежности гидроцилиндры являются самыми распространенными объемными гидродвигателями.

Основным требованием при выборе гидроцилиндра является обеспечение исполнительным органом машины необходимого усилия F и скорости движения V выходного звена.

Выходным звеном может быть как шток, так и корпус (гильза) гидроцилиндра. В зависимости от направления действия рабочей среды гидроцилиндры бывают одностороннего действия, у которых движение выходного звена под действием жидкости возможно только в одном направлении, и двустороннего действия, у которых движение выходного звена под действием жидкости возможно в двух взаимно противоположных направлениях.

Поршневой гидроцилиндр (рисунок 13.3, а, б, ж) имеет цилиндр (корпус) 1 и поршень 2, жестко соединенный со штоком 3. Шток выходит наружу корпуса. Гидроцилиндр имеет две полости: поршневую А – часть рабочей камеры, ограниченной рабочими поверхностями корпуса и поршня, и штоковую Б – часть рабочей камеры, ограниченной рабочими поверхностями корпуса, поршня и штока. Для герметизации подвижных соединений в гидроцилиндре установлены уплотнения.

Принцип действия поршневого гидроцилиндра (рисунок 13.3а) заключается в следующем. При соединении поршневой полости А с напорной гидролинией поршень 2 вместе со штоком 3 под действием силы давления рабочей жидкости перемещается вправо (корпус 1 неподвижен). При этом одновременно происходит вытеснение рабочей жидкости из штоковой полости Б. При подводе рабочей жидкости в полость Б поршень со штоком перемещается в противоположном направлении. Скорость движения поршня со штоком зависит от диаметров поршня и штока. В отдельных случаях подвижным (выходным звеном) может быть корпус гидроцилиндра, а не шток с поршнем. Поршневые гидроцилиндры с двусторонним штоком (рисунок 13.3б) имеют одинаковую скорость движения поршня в обоих направлениях.

В поршневом гидроцилиндре одностороннего действия (рисунок 13.3ж) имеется лишь одна поршневая полость А, и движение поршня со штоком под действием силы давления рабочей жидкости возможно только в одном направлении. Движение поршня со штоком в обратном направлении происходит под действием внешних сил, например, силы пружины сжатия, силы тяжести и т.д.

Плунжерные гидроцилиндры (рисунок 13.3в) имеют плунжер сплошного или трубчатого сечения. По сравнению с поршневыми они отличаются простотой изготовления, так как не требуется обработка внутренней поверхности корпуса. Однако плунжерные гидроцилиндры более громоздки по сравнению с поршневыми гидроцилиндрами.

Телескопические гидроцилиндры (рисунок 13.3г) имеют несколько концентрически расположенных поршней (цилиндров) или плунжеров, перемещающихся относительно друг друга, причем сумма их ходов равна ходу выходного звена. При подводе жидкости в поршневую полость А поршни (цилиндры) последовательно выдвигаются от большого к меньшему диаметру. Втягивание поршней (цилиндров) происходит в обратном порядке (от меньшего к большему).

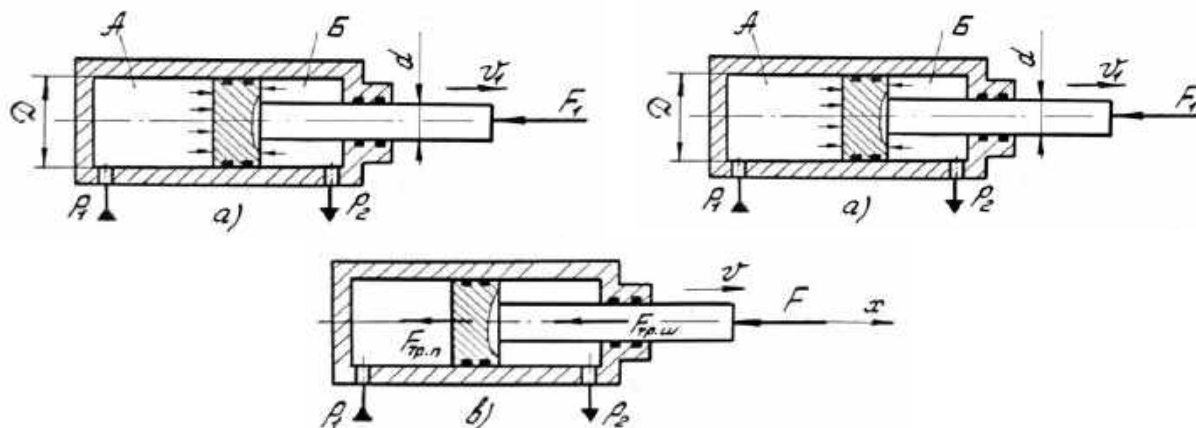
Мембранные и сильфонные гидроцилиндры (рисунок 13.3д, е) имеют малый ход штока (выходного звена), что ограничивает их применение. Преимуществом этих гидроцилиндров является высокий объемный КПД из-за отсутствия перетечек и утечек, так как рабочая жидкость поступает в полость, где обеспечена хорошая герметичность. Мембранные гидроцилиндры выполняются с плоской или гофрированной мембраной. Плоские мембраны изготавливаются из резиноканевых материалов и применяются при давлениях не выше 1 МПа.

Сильфоны изготавливаются из металлов, а при небольших давлениях – из резины или различных пластиков. Наибольшее применение в объемных гидроприводах получили поршневые гидроцилиндры и, в частности, двустороннего действия с односторонним штоком.

Основными параметрами гидроцилиндров, определяющими их геометрические размеры и внешние характеристики, являются следующие: номинальное давление $p_{ном}$, диаметр поршня (гильзы) D , диаметр штока d , ход поршня L .

По этим параметрам определяется развиваемое на штоке усилие, скорость перемещения штока (при заданном расходе жидкости) или определяется требуемый расход жидкости для обеспечения заданной скорости движения поршня со штоком.

На рисунке 13.4 показаны расчетные схемы гидроцилиндров.



а – с поршневой рабочей полостью; б – со штоковой рабочей полостью; в – с поршневой рабочей полостью при динамическом расчете

Рисунок 13.4 – Расчетные схемы гидроцилиндров

Теоретическое усилие, развиваемое гидроцилиндром (рисунок 13.4а) при выталкивании одностороннего штока (жидкость поступает в поршневую полость А) без учета сил инерции, тяжести и трения, определяется из условия равновесия всех сил, действующих на шток, по формуле

$$F_1 = p_1 S_1 - p_2 S_2 \quad (1)$$

где F_1 – усилие на штоке, Н;

p_1 – давление в поршневой полости, Па;

S_1 – рабочая (эффективная) площадь поршневой полости, м²; $S_1 = \frac{\pi D^2}{4}$,

p_2 – давление в штоковой полости, Па;

S_2 – рабочая (эффективная) площадь штоковой полости, м² $S_2 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$

Следует заметить, что сила, действующая на выходное звено (рабочий орган), по величине равна силе F_1 , определяемой по формуле (1), но противоположна ей по направлению.

Расчетная скорость движения штока (рисунок 13.4а), без учета утечек рабочей жидкости, определяется из условия неразрывности потока по формуле

$$V_1 = \frac{Q_u}{S_1} \quad (2)$$

где V_1 – скорость движения штока, м/с;

Q_u – расход рабочей жидкости, м³/с;

S_1 – рабочая площадь поршневой полости, м²,

При втягивании штока (рисунок 13.4б), когда жидкость подается в штоковую полость Б, теоретическое усилие, развиваемое гидроцилиндром, определяется по формуле

$$F_2 = p_2 S_2 - p_1 S_1 \quad (3)$$

Расчетная скорость движения штока (рисунок 13.4б) определяется по формуле

$$V_2 = \frac{Q_u}{S_2} \quad (4)$$

Из формул видно, что $V_1 < V_2$, так как $S_1 > S_2$. При подаче жидкости в поршневую полость и соединении штоковой полости с поршневой (рисунок 13.6) получается дифференциальная схема включения гидроцилиндра.

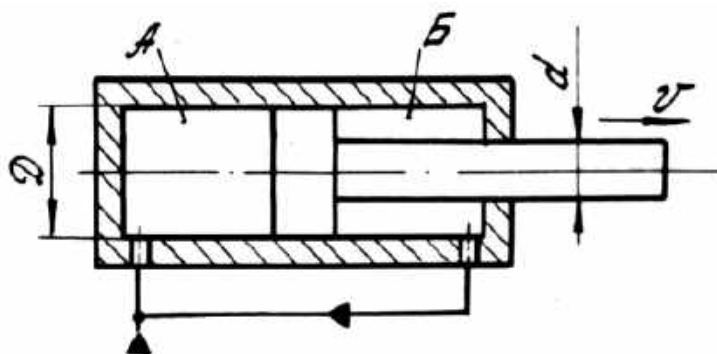


Рисунок 13.5 - Дифференциальная схема включения гидроцилиндра

Жидкость, вытесненная из штоковой полости Б, перетекает в поршневую А, складываясь с потоком от насоса. При подаче жидкости в штоковую полость для создания движения в противоположном направлении поршневую полость следует соединить со сливом.

При дифференциальном включении поршня можно получить одинаковые скорости движения штока в обоих направлениях. Для этого необходимо, чтобы

$$d = \frac{D\sqrt{2}}{2}$$

Формулы (1), (2), (3) и (4) являются расчетными при определении геометрических параметров гидроцилиндров (диаметров поршня и штока), если заданы необходимые усилия на штоке, скорости движения выходных звеньев.

При проектировании гидроцилиндров задаются отношением диаметра штока к диаметру поршня равном

$$\varphi = \frac{d}{D}$$

φ от 0,3 до 0,7 (при давлении в гидроприводе $p < 1.5$ МПа рекомендуется принимать $\varphi = 0,3$, при $1,5 < p < 5$ МПа, $\varphi = 0,5$, при $5 < p < 30$ МПа, $\varphi = 0,7$)

В предварительных расчетах объемный и гидравлический КПД гидроцилиндров можно принимать равным 1, а механический КПД равным 0,92...0,98. Тогда фактическое усилие на штоке гидроцилиндра определяется по формуле

$$F = F_{1(2)} \eta_m$$

При динамическом расчете гидроцилиндра (рисунок 13.4в) записывается уравнение движения поршня, которое без учета сил тяжести имеет следующий вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 S_1 - p_2 S_2 - F_{\text{соп}} - F_V - (F_{\text{тр.п}} + F_{\text{тр.ш}}) \left| \frac{v}{|v|} \right|$$

где m – масса поршня и присоединенных к нему поступательно движущихся частей;

x – перемещение поршня, $0 \leq x \leq L$, здесь L – ход поршня;

p_1, p_2 – давление в поршневой и штоковой полостях соответственно;

S_1, S_2 – рабочие площади поршневой и штоковой полостей,

$F_{\text{соп}}$ – сила полезного сопротивления;

F_V – сила, обусловленная вязким трением, $F_V = hV$, здесь h – коэффициент вязкого трения, V – скорость поршня;

$F_{\text{тр.п}}, F_{\text{тр.ш}}$ – силы трения в уплотнениях поршня и штока соответственно.

Силы механического трения зависят от вида уплотнений. Для гидроцилиндра с резиновыми уплотнениями сила трения определяется по формуле

$$F_{\text{мп}} = f \pi D b p_K Z$$

где f – коэффициент трения, $f = 0,1 \dots 0,2$;

D – диаметр цилиндра или штока;

b – ширина контактного пояса уплотнения;

p_K – контактное давление;

Z – количество уплотнений поршня или штока.

Давление на контактную поверхность зависит от давления предварительного сжатия уплотнения (монтажного давления) p_0 и давления рабочей жидкости на уплотнение p , т.е.

$$p_K = p_0 + p$$

Давление предварительного сжатия зависит от вида уплотнения (кольцо, манжета), относительного сжатия уплотнения, характеристик уплотняющего материала. Значения приведены в технической литературе

Для уменьшения ударных воздействий поршня о крышки корпуса при его подходе к крайним положениям иногда в полостях гидроцилиндра предусматривают буферные устройства.

Принцип действия буферных устройств основан на запирании жидкости между крышкой и поршнем и последующим дросселировании ее через кольцевой профильный зазор или дроссель.

Толщины стенки, днища корпуса гидроцилиндра вычисляются по формулам:

$$\delta_{\text{ст}} \geq \frac{p_{\text{max}} D}{2[\sigma]}$$

$$\delta_{\text{дн}} \geq 0.433 D \sqrt{\frac{p_{\text{max}}}{[\sigma]}}$$

где $\delta_{\text{ст}}, \delta_{\text{дн}}$ – толщины стенки, днища соответственно;

p – максимальное давление в полостях гидроцилиндра;

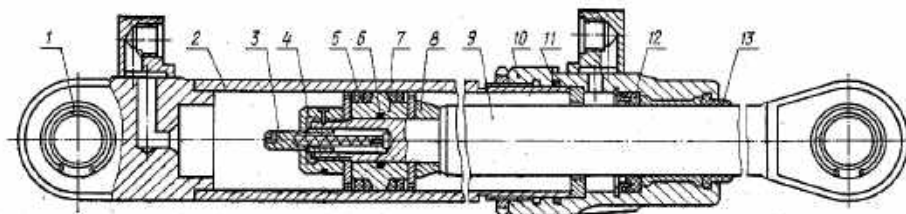
D – диаметр поршня;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение растяжения материала корпуса.

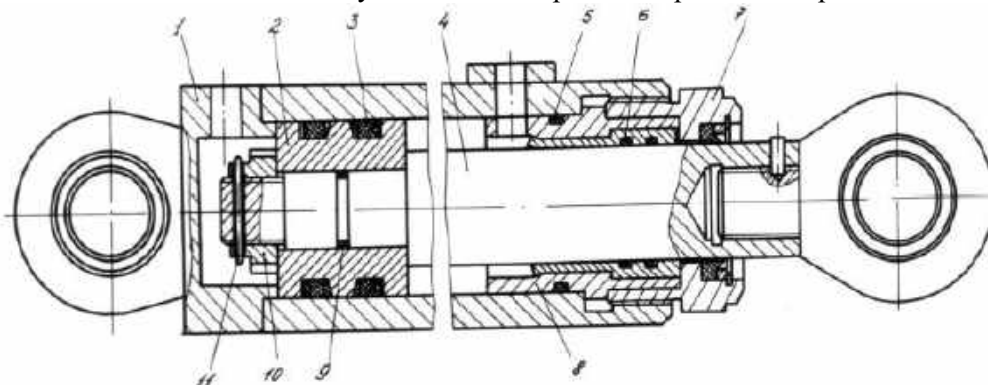
В гидроприводах строительных и дорожных машин широко применяются поршневые гидроцилиндры двустороннего действия, рассчитанные на номинальное давление 10, 16, 25 и 32 МПа.

Для самоходных кранов применяются специальные гидроцилиндры на 16 МПа. Гидроцилиндры имеют очень много конструктивных исполнений.

Конструкции некоторых гидроцилиндров приведены на рисунке 13.6 и 13.7



1 – проушина; 2 – цилиндр; 3 – демпфер; 4 – гайка; 5, 6, 11, 12 – уплотнения;
7 – поршень; 8 – упор; 9 – шток; 10 – передняя крышка; 13 – грязесъемник
Рисунок 13.6 – Гидроцилиндр экскаватора



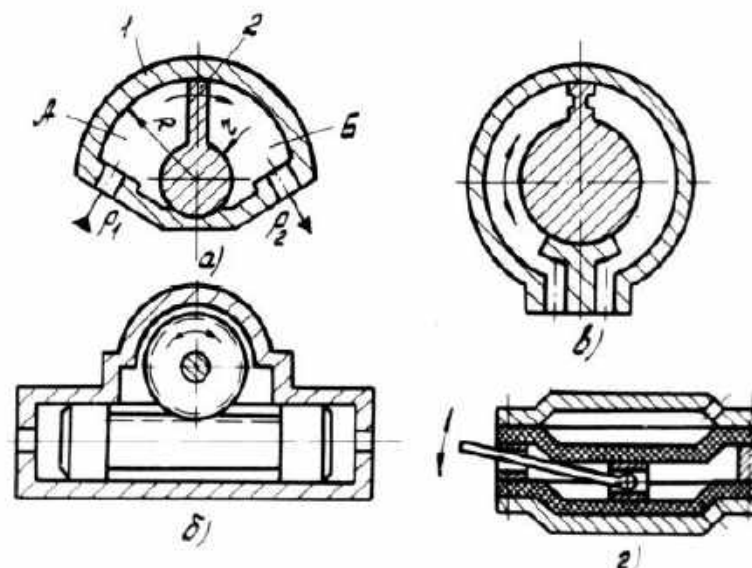
1 – корпус; 2 – поршень; 3 – манжета; 4 – шток; 5, 6, 9 – уплотнение;
7, 10 – гайка; 8 – стакан; 11 – шплинт

Рисунок 13.7 – Гидроцилиндр поршневой двустороннего действия с односторонним штоком

В корпусе 1 гидроцилиндра (рисунок 13.7) расположен шток 4 с поршнем 2. Поршень на штоке крепится гайкой 10 и шплинтом 11. Подвижные соединения уплотняются резиновыми манжетами 3, расположенными на корпусе, и кольцами 6, обеспечивающими уплотнение штока на выходе из корпуса гидроцилиндра. Гайкой 7 крепится стакан 8 в корпусе. Неподвижные соединения уплотняются резиновыми кольцами круглого сечения 5 и 9.

Поворотным гидродвигателем (квадрантом) называется объемный гидродвигатель, у которого угол поворота выходного вала ограничен (до 360°).

Поворотные гидродвигатели (рисунок 13.8) по конструкции рабочих камер подразделяют на пластинчатые (шиберные), поршневые, мембранные.



а – пластинчатый (шиберный); 1 – корпус; 2 – пластина (шибер);
 б – поршневой; в – фигурно-шиберный; г – мембранный
 Рисунок 13.8 - Типы поворотных гидродвигателей:

Применение в гидроприводах поворотных гидродвигателей упрощает кинематику передающих звеньев машин и механизмов по сравнению с гидроприводами, в которых для этих же целей применяются гидроцилиндры, так как вал поворотного гидродвигателя может быть непосредственно соединен с валом приводной машины без каких-либо промежуточных кинематических звеньев. Поворотные гидродвигатели практически являются безынерционными гидродвигателями, их применяют при давлениях до 20 МПа. Для осуществления поворотного движения жидкость по переменному подаю в рабочие камеры А и Б. Крутящий момент на валу однопластинчатого поворотного гидродвигателя определяется по формуле

$$M = Fl = \Delta p Sl = \Delta p \frac{b}{2} (R^2 - r^2)$$

где М – крутящий момент, Н·м;

F – сила давления на пластину,

S – рабочая площадь пластины, м², $S = (R - r) b$, здесь R и r – большой и малый радиусы, b – ширина пластины; l – плечо силы давления, м, $l = (R - r)/2$.

Угловую скорость поворота вала однопластинчатого гидродвигателя определяют по формуле

$$\omega = \frac{2Q}{b(R^2 - r^2)}$$

Крутящий момент у двух- и трехпластинчатых поворотных гидродвигателей больше по сравнению с однопластинчатыми, однако угол поворота и угловая скорость при этом же расходе жидкости у них меньше:

$$\omega = \frac{2Q}{b(R^2 - r^2)Z}$$

$$M = \Delta p \frac{b}{2} (R^2 - r^2) Z$$

Применение пластинчатых поворотных гидродвигателей ограничивается в гидроприводах высокого давления сложностью обеспечения герметизации рабочих камер, особенно по торцу пластин.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА