

Из истории развития дорожно-строительной техники

На Ковровском экскаваторном впервые в Советском Союзе и в мировой практике был создан и поставлен на серийное производство экскаватор ЭО-505 с ковшом емкостью 0,5 м³ с гидравлическим управлением.

В 1970 г. впервые в истории страны прошел приемочные испытания и был рекомендован в серийное производство гидравлический полноповоротный экскаватор ЭО-4121



Отечественные экскаваторы нового поколения



Современные зарубежные экскаваторы

Гидравлический привод

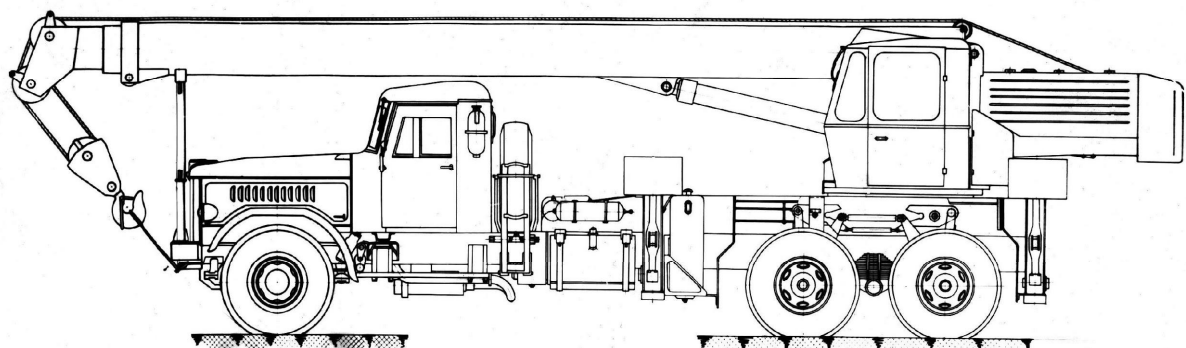
Гидропривод — совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством гидравлической энергии



Одноковшовый экскаватор с объёмным гидравлическим приводом

Автомобильные краны

В начале 70-х, когда автокраны стали оснащаться гидравлическими приводами, эту технику стали использовать в строительстве. Практически все краностроительные фирмы США, Германии, Великобритании, Японии, Франции включали и включают в свои производственные программы тяжелые гидравлические краны на специальных шасси автомобильного типа.



Советские самоходные краны

Составление принципиальных гидравлических схем объемного гидропривода

Принцип действия объемного гидропривода основан на практической несжимаемости рабочей жидкости, использовании закона Паскаля и уравнения Бернулли, учитывающего течение реальной жидкости в гидросистеме

Для гидроприводов применяют **три типа схем:**

структурные (изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные взаимосвязи между ними),

принципиальные (изображают все гидравлические и пневматические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных гидравлических (пневматических) процессов, и все связи между ними

и схемы соединений

Обозначения гидравлических и пневматических насосов по функциональным признакам

Наименование	Обозначение
1. Насос постоянной производительности: а) с постоянным направлением потока	
б) с реверсивным потоком <i>у которого возможно изменение направления движения подаваемой жидкой среды на противоположное</i>	
2. Насос с регулируемой производительностью: а) с постоянным направлением потока	
б) с реверсивным потоком	
3. Компрессор	
4. Вакуум-насос	

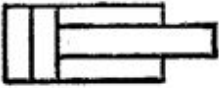
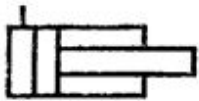
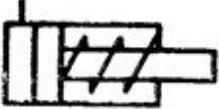
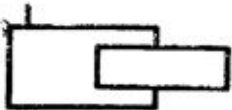
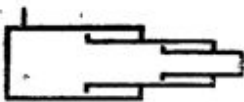
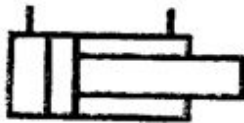
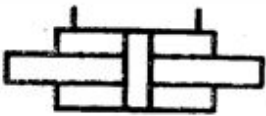
Обозначения гидравлических и пневматических двигателей по функциональным признакам

Если выходное звено получает вращательное движение, то такой гидродвигатель называют *гидромотором*

Наименование	Обозначение
1. Гидромотор. Общее обозначение	
2. Гидромотор нерегулируемый: а) с постоянным направлением потока	
б) с реверсивным потоком	
3. Гидромотор регулируемый: а) с постоянным направлением потока	
б) с реверсивным потоком	
4. Пневмомотор. Общее обозначение	

Обозначения гидроцилиндров по функциональным признакам

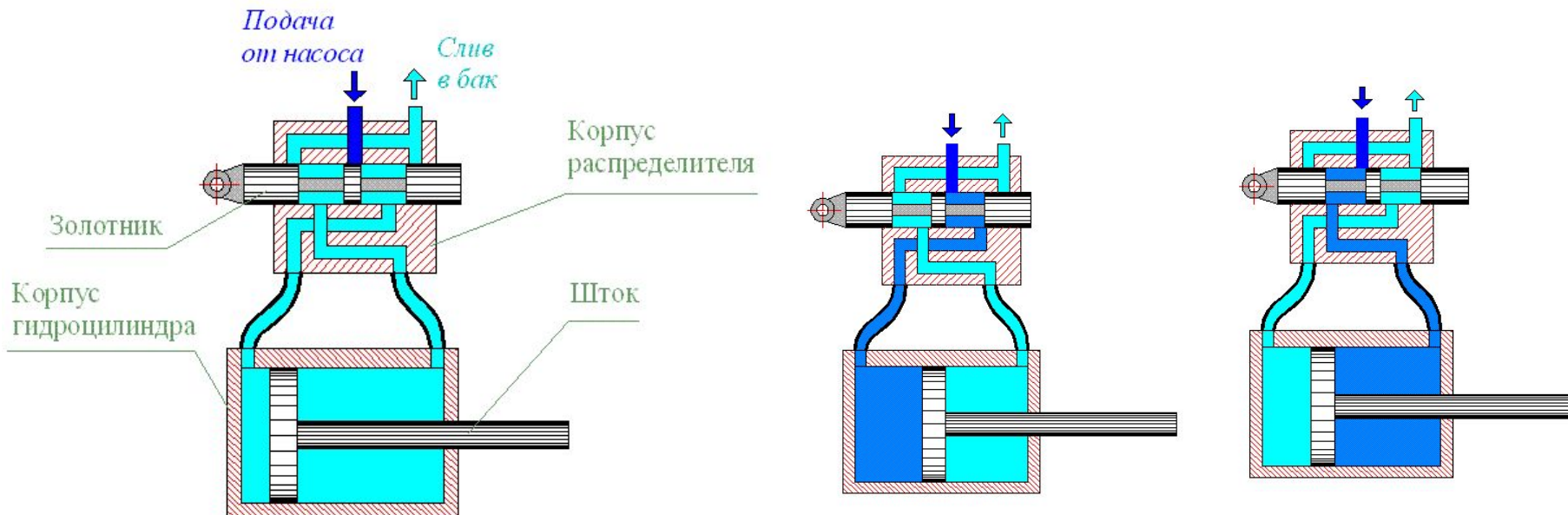
Если выходное звено получает поступательное движение, то такой гидродвигатель называют *гидроцилиндром*

Наименование	Обозначение
1. Цилиндр. Общее обозначение	
2. Цилиндр одностороннего действия:	
а) без указания способа возврата штока способны развивать усилия только в одном направлении - на выталкивание штока, обратный ход совершается под действием силы тяжести поднятого груза	
б) с возвратом штока пружиной	
в) плунжерный <i>вытеснитель цилиндрической формы, длина которого намного больше диаметра</i>	
г) телескопический <i>состоит из нескольких гильз, вставленных одна в другую так, что при накачивании масла насосом) гильзы последовательно выдвигаются</i>	
3. Цилиндр двухстороннего действия:	
а) с односторонним штоком <i>во время прямого хода штока рабочая жидкость подводится в поршневую полость, для обратного хода жидкость подводится в штоковую полость</i>	
б) с двухсторонним штоком	

Золотниковые гидрораспределители

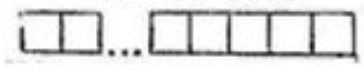
Предназначены для изменения направления потока рабочей жидкости с целью изменения направления движения исполнительных механизмов машины, а также для пуска, остановки и реверса движения привода

В качестве золотника выступает плунжер. Злотник может занимать 3 позиции. В **нейтральном положении** (*рис. 1.*) каналы заперты и жидкость **не** поступает от насоса ни в одну из полостей — шток остаётся в покое. При **смещении** золотника **влево** рабочая жидкость по каналам распределителя и по трубопроводам поступает в левую полость гидроцилиндра, и шток выдвигается. Если же золотник **сместить вправо** от нейтрального положения, то рабочая жидкость будет поступать уже в правую полость гидроцилиндра, а из левой полости пойдёт на слив в гидробак. В этом положении золотника шток вдвигается



Графические обозначения при описании гидрораспределителей

 — позиция;

 — число позиций;



— прямое движение среды;



— обратное движение (реверс);



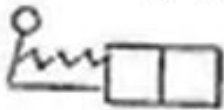
— нет прохода среды (остановка);



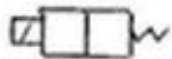
— разделение потока на два;



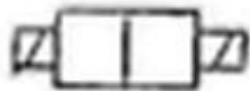
— среда вошла и возвратилась в гидробак;



— ручной привод с оператором;



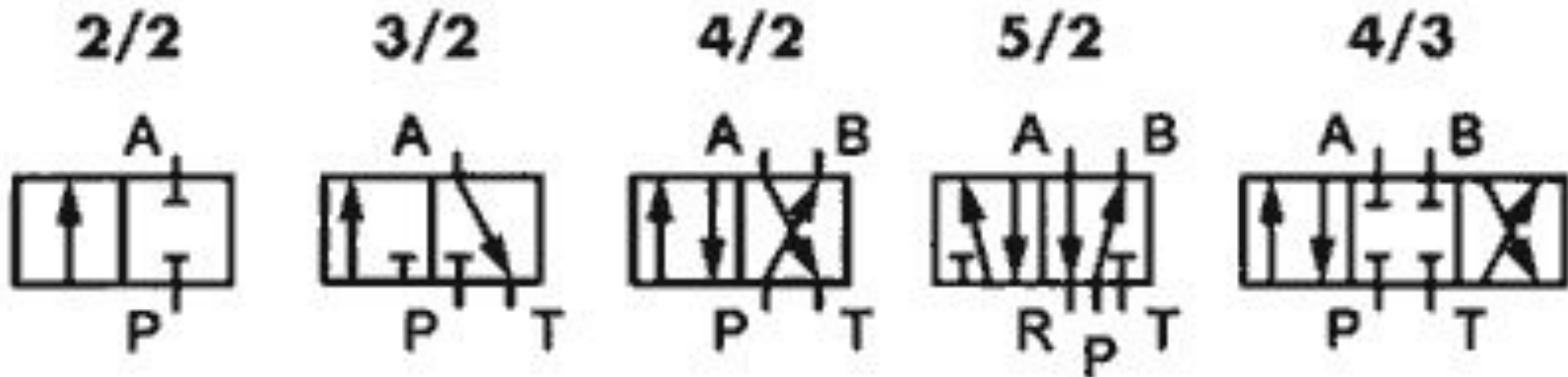
— электромагнитный привод с одним магнитом;



— электромагнитный привод с двумя магнитами.

Примеры обозначения типов распределителей

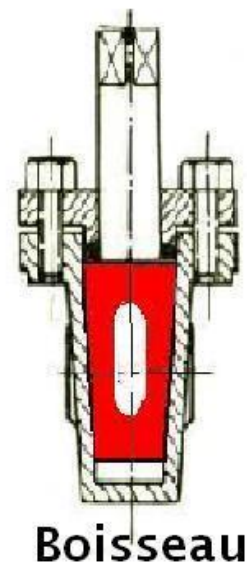
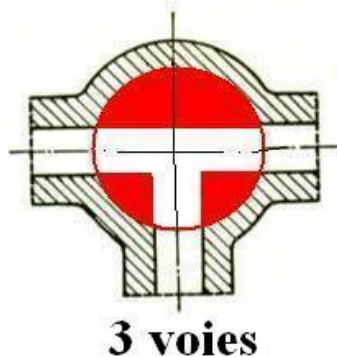
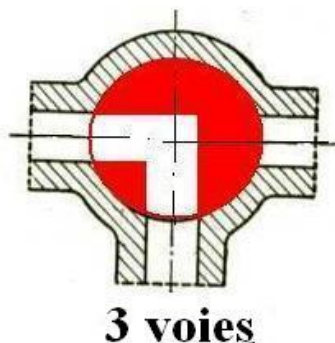
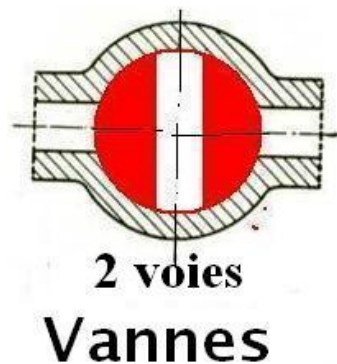
В зависимости от числа подводов (линий, ходов) распределители могут быть двухходовые; трехходовые; четырех- и многоходовые. В соответствии с этим в обозначениях гидрораспределителей первая цифра говорит о числе подводов. Например, из обозначения гидрораспределителя "4/2" можно понять, что он имеет 4 подвода, т. е. он четырехходовой. Вторая цифра в обозначении говорит о числе позиций. То же обозначение распределителя "4/2" говорит, что у него две позиции



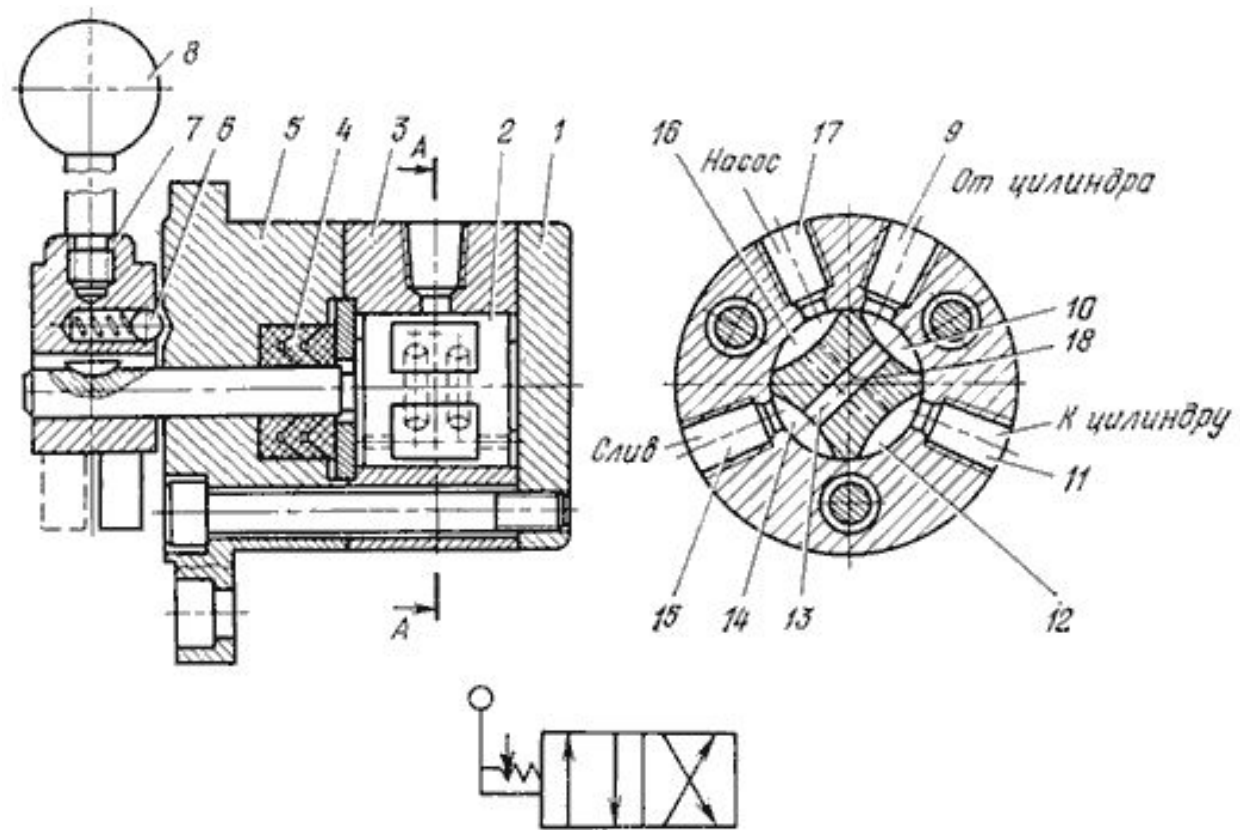
Крановый гидрораспределитель

Гидравлический распределитель, в котором перенаправление потока жидкости осуществляется поворотом пробки на определённый угол.

Крановые распределители обладают небольшой пропускной способностью (до 8-10 л/мин), поэтому они используются в основном для подачи управляющего сигнала на распределитель основного потока (золотниковый или клапанный).



Крановый гидрораспределитель



3 кран, 5 – фланец, 1 – крышка, 2 – пробка, 4 – уплотнение,
7 – ступица, 8 – рукоятка, 6 – шариковый фиксатор

Жидкость через отверстие 17 поступает в камеру 16, из нее через канал 18 в пробке крана – в камеру 12 и далее через отверстие 11 в корпусе к гидродвигателю.

Из другой полости гидродвигателя жидкость поступает в отверстие 9, далее в камеру 10 и через канал 13 в камеру, которая отверстием 15 в корпусе крана соединена со сливом.

При повороте пробки крана по часовой стрелке на угол 45 происходит изменение направления потока рабочей жидкости

Клапаны - это устройства, позволяющее перекрывать поток жидкости.

Нормально открытый клапан - это клапан, который в отсутствие управляющего сигнала открыт.

Нормально закрытый клапан, соответственно, при отсутствии управляющего сигнала закрыт, т. е. не пропускает .

Обратный гидроклапан

Обратный гидроклапан - это направляющий гидроаппарат, предназначенный для пропускания рабочей жидкости только в одном направлении.

Они могут иметь различные запорно-регулирующие элементы: шариковый, конусный, тарельчатый или плунжерный. Обозначение обратного клапана –

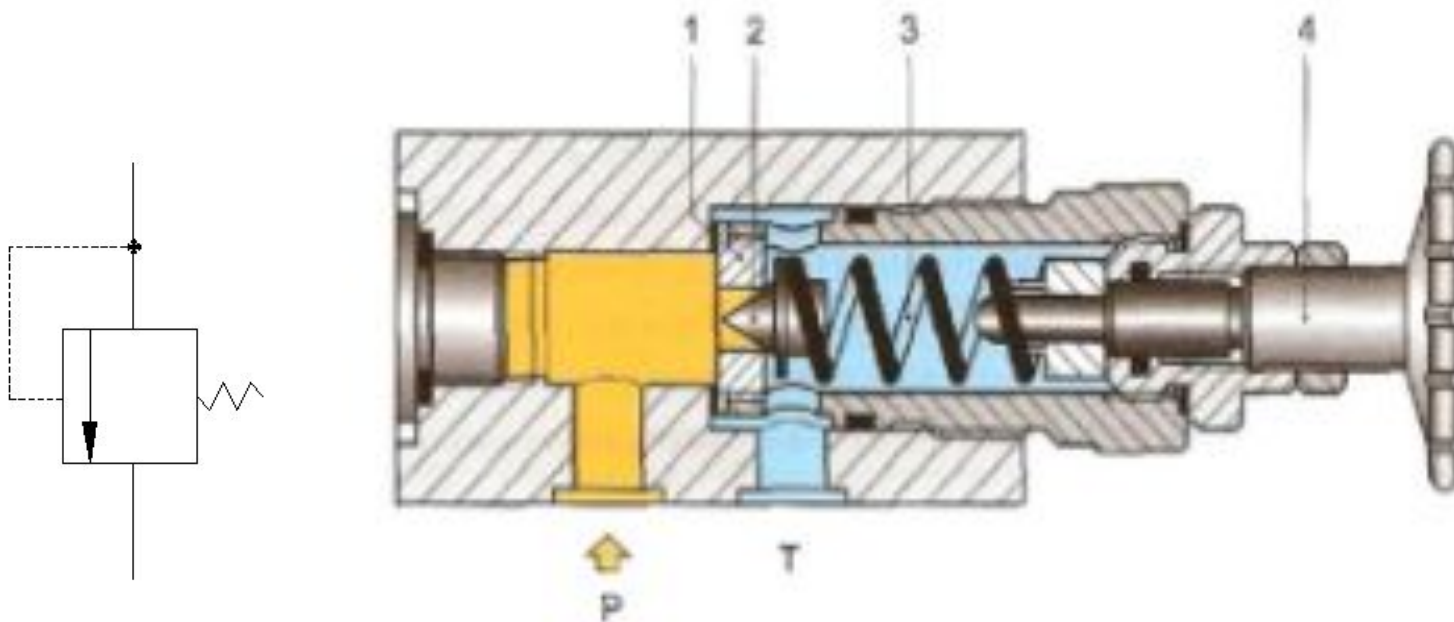


Регулирующие гидроклапаны

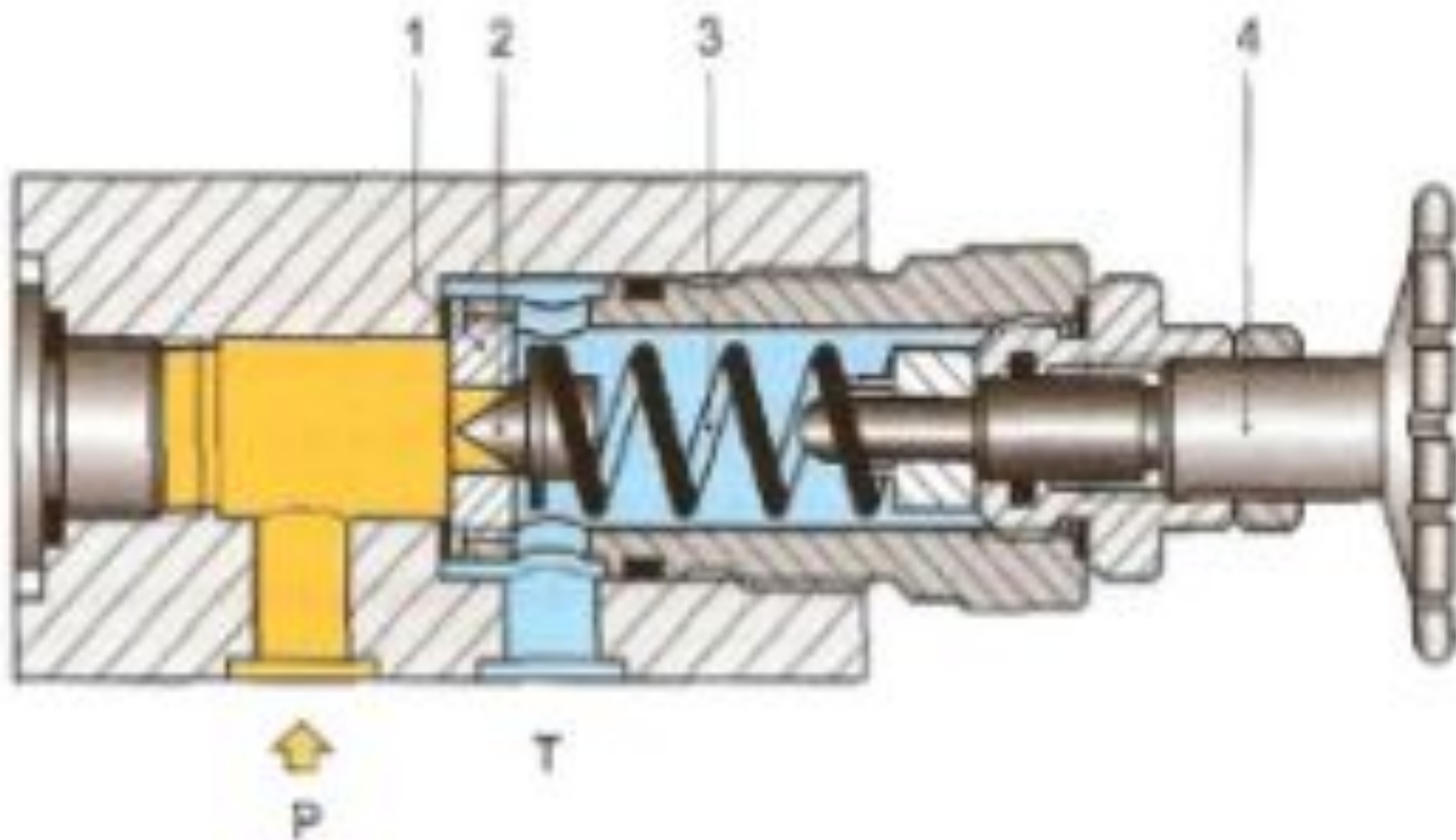
1. Предохранительный клапан, который поддерживает давление не выше определённого уровня на входе в гидроклапан;

В нормальном положении запорно-регулирующий элемент гидроклапана закрыт, и открывается, только тогда, когда давление на входе в гидроклапан достигнет предельно-допустимого значения;

До тех пор, пока давление в гидрوليнии P не превышает некоторого заранее заданного значения, клапан 2 прижат пружиной 3 к седлу 1 и перекрывает проходное сечение, т.е. клапан нормально закрыт

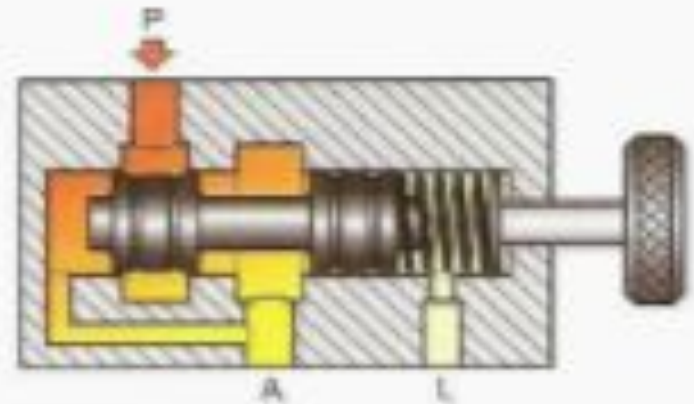
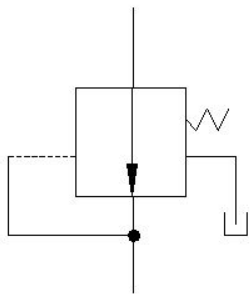


Если контролируемое давление P начинает превышать заданный уровень, клапан приоткрывается и сбрасывает часть рабочей жидкости в бак до тех пор, пока давление не нормализуется. Давление в линии P , при котором клапан открывается, зависит от давления в линии T , жесткости пружины и степени ее сжатия, которую можно изменять путем вращения регулировочного винта 4.

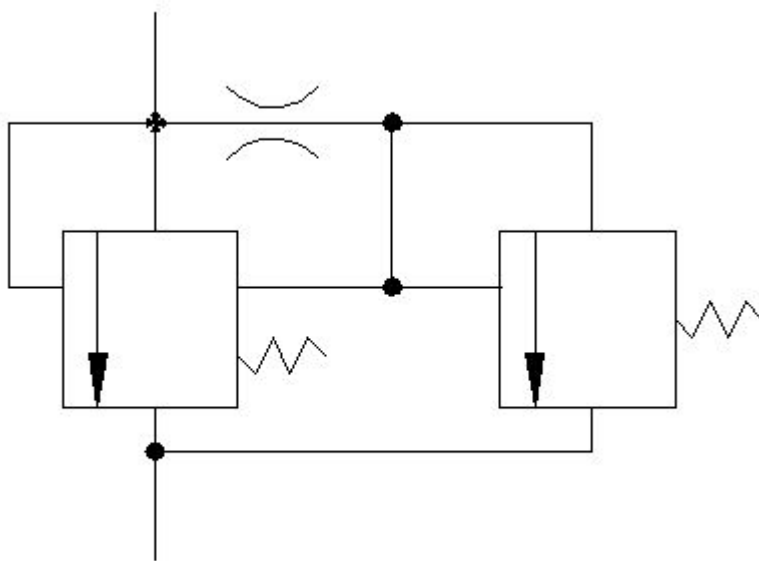


2. Редукционный клапан поддерживает постоянным давление на выходе из клапана; они предназначены для поддержания в некоторой части гидросистемы пониженного давления относительно давления в основной гидролинии

Редукционный клапан является нормально-открытым клапаном, в начальный момент времени рост давления на входе в клапан P сопровождается ростом давления на его выходе A . При этом по каналу управления L , соединяющему канал выхода A и левый торец золотника 2 , где действует давление на выходе. золотник 2 перемещается в сторону настроечной пружины 3 , предварительное сжатие которой регулируется винтом 4 . Перемещение золотника 2 сопровождается уменьшением проходного сечения клапана, и когда давление на выходе достигнет заданного уровня, клапан закроется. Золотник 2 будет находиться в состоянии равновесия – на левый торец действует заданное давление на выходе, на правый – настроечная пружина 3 . Если давление на входе в клапан больше давления настройки, то его изменение не оказывает никакого влияния на равновесное состояние золотника 2 . Редукционный клапан автоматически поддерживает на заданном уровне давление на выходе

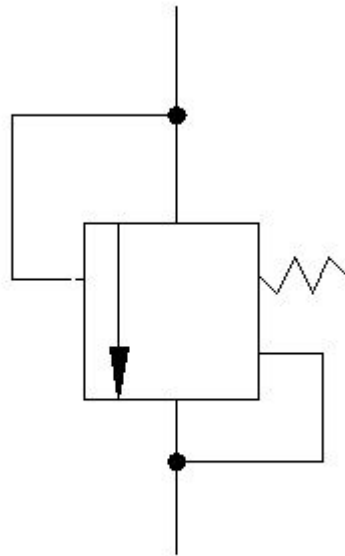


Переливной клапан поддерживает давление на входе в клапан на заданном уровне; в нормальном положении переливной гидроклапан открыт и через него осуществляется постоянный слив части потока рабочей жидкости;



Клапан разности давлений поддерживает постоянную разность между давлениями на входе и выходе из клапана;

Клапан соотношения давлений поддерживает постоянным соотношение между давлениями на входе и выходе из клапана.



1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРИВОДЕ

Гидравлическим приводом называется совокупность устройств – гидромашин и гидроаппаратуры, предназначенных для передачи механической энергии и приведения в движение механизмов и машин посредством рабочей жидкости.

Основные свойства жидкостей, используемые в гидравлических приводах:

- а) текучесть;
- б) несжимаемость;
- в) равномерное распределение по объему внешнего давления (закон Паскаля).

Различают два типа гидроприводов, отличающихся по физическому эффекту преобразования гидравлической энергии в работу:

- динамические гидроприводы;
- объемные гидроприводы.

1.2 Объемные гидроприводы

На рисунке представлена схема объемного гидропривода, некоторый объем жидкости, передающий работу от источника энергии заключен в замкнутый объем.

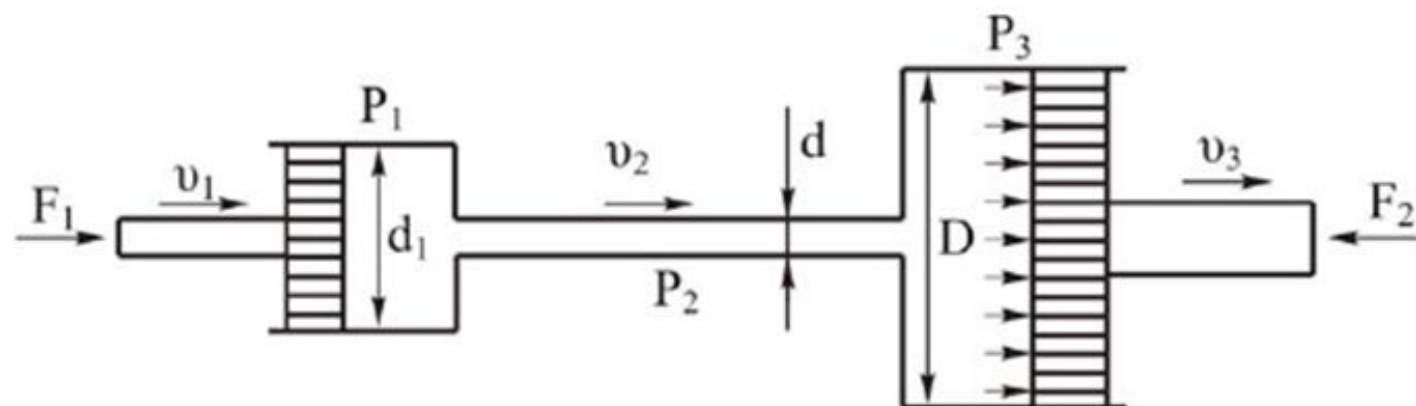


Схема объемного гидропривода

Если система нагружена внешней силой F_2 (рисунок), но находится в покое, то можно записать:

$$P_1 = P_2 = P_3,$$

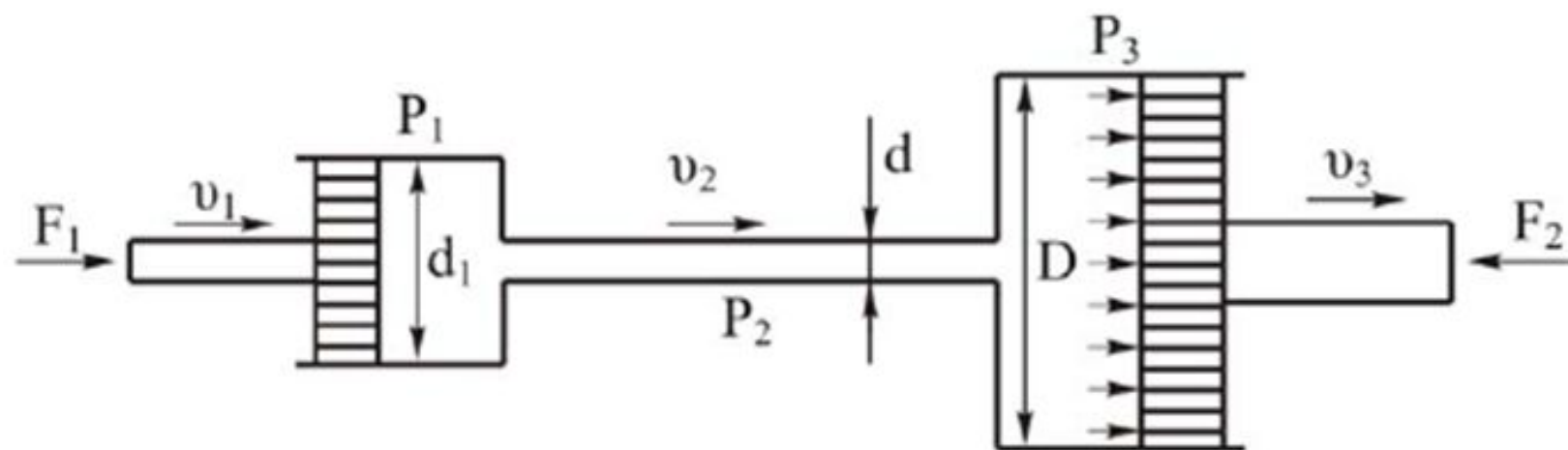
где P_1, P_2, P_3 – давление жидкости.

Для совершения работы необходимо перемещать поршень исполнительного органа с диаметром D . Это достигается подачей в гидроцилиндр некоторого объема жидкости источником гидравлической энергии, который перемещает поршень. Совершаемая им работа будет равна:

$$A = F_2 \cdot \Delta l \cdot \eta ,$$

где Δl – перемещение поршня.

η – КПД исполнительного органа.



Секундная работа может быть определена из выражения:

$$N = F_2 \cdot v_3 \cdot \eta.$$

Следовательно:

$$N = \frac{\pi D^2}{4} \cdot P_3 v_3 \eta.$$

При этом, так как:

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot v_3 = Q,$$

где Q – объем поступившей жидкости (секундный расход),

следовательно:

$$N = QP_3\eta.$$

Так как $P_3 = \text{const}$ и $\eta = \text{const}$ для установившегося режима, то $N = f(Q)$, то есть передача энергии совершается изменением объема жидкости в исполнительном органе. Поэтому приводы этого типа были названы «объемными».

1.3 Основные элементы объемного гидропривода

В состав объемного гидропривода входят: приводящий двигатель (источник энергии), объемный гидродвигатель (исполнительный механизм), устройства управления (контрольно-регулирующая аппаратура) и вспомогательные устройства (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Структурная схема гидропривода

На рисунке 1.6 представлена принципиальная схема объемного гидропривода возвратно-поступательного движения, а на рисунке 1.7 – принципиальная схема гидропривода вращательного движения.

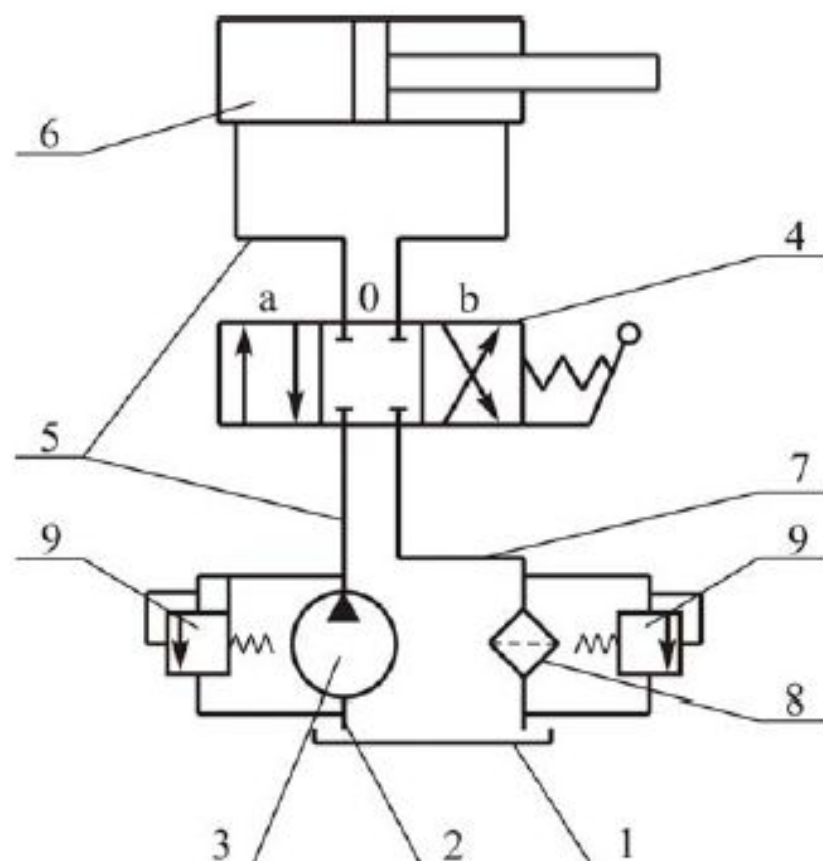


Рисунок 1.6 – Гидропривод поступательного движения:

- 1 – гидробак; 2 – всасывающая гидролиния; 3 – насос; 4 – гидрораспределитель;
 5 – напорная гидролиния; 6 – гидроцилиндр; 7 – сливная гидролиния; 8 – фильтр;
 9 – предохранительный клапан

Система работает следующим образом. Рабочая жидкость из гидробака 1 по всасывающему трубопроводу 2 под действием разряжения, создаваемого насосом 3, всасывается в него и подается через гидрораспределитель 4 по напорной магистрали 5 в штоковую полость гидроцилиндра 6.

Под действием увеличивающегося объема жидкости поршень гидроцилиндра перемещается влево, увлекая шток и звенья связанного с ним механизма, и совершает работу. Рабочая жидкость из бесштоковой полости выжимается в сливную магистраль 7 и через фильтр 8 перетекает в бак. При наличии внешнего сопротивления в напорной магистрали и полости цилиндра в системе возникает давление. Для создания этого давления насосом «отсекается» часть жидкости и подается в напорную магистраль. При этом в системе возникает давление, которое носит пульсирующий характер при последовательной непрерывной подаче рабочей жидкости в систему. Для предохранения системы от перегрузок устанавливаются предохранительные клапаны 9.

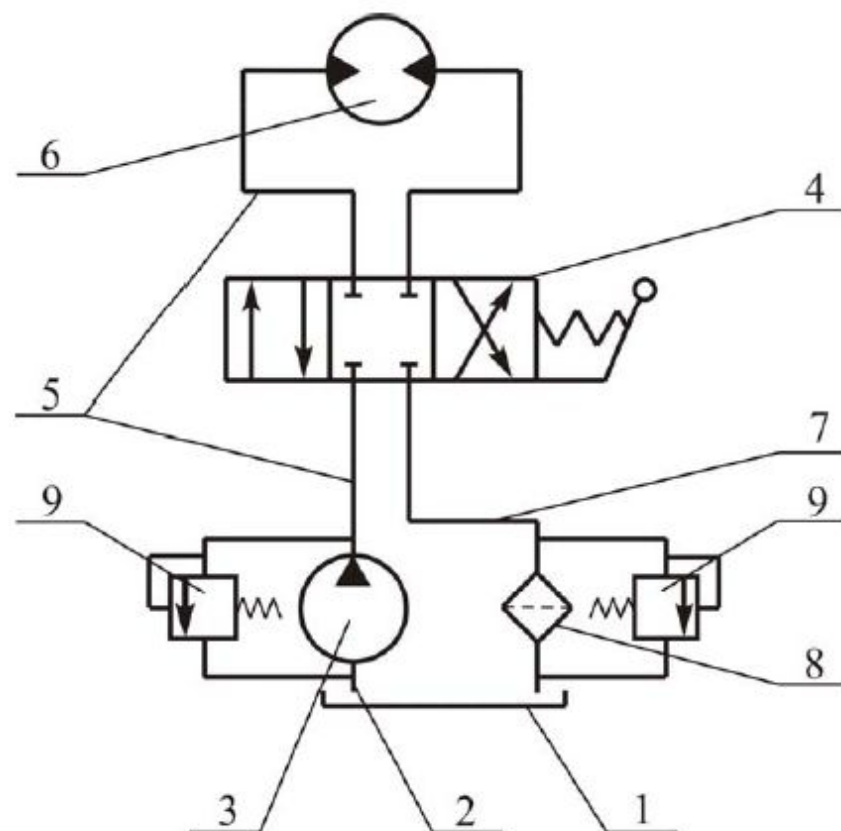


Рисунок 1.7 – Гидропривод вращательного движения:

- 1 – гидробак; 2 – всасывающая гидролиния; 3 – насос; 4 – гидрораспределитель;
 5 – напорная гидролиния; 6 – гидромотор; 7 – сливная гидролиния; 8 – фильтр;
 9 – предохранительный клапан

Представленный на рисунке 1.7 гидропривод вращательного движения отличается от схемы рисунок 1.6 лишь тем, что гидроцилиндр 6 заменен гидромотором, обеспечивающим вращательное движение силового органа.

1.4 Классификация гидравлических приводов

В зависимости от характера движения выходного звена гидродвигателя, возможности регулирования, способа циркуляции рабочей жидкости и т.п. гидроприводы можно **классифицировать** несколькими способами.

1. По характеру движения выходного звена различают гидроприводы:

- поступательного движения – с поступательным движением выходного звена гидродвигателя;
- поворотного движения – с поворотным движением выходного звена гидродвигателя на угол менее 360° ;
- вращательного движения – с вращательным движением выходного звена гидродвигателя.

2. По возможности регулирования различают регулируемый и нерегулируемый гидроприводы. В регулируемом гидроприводе скорость выходного звена гидродвигателя может изменяться по заданному закону.

По способу регулирования скорости гидроприводы делят на следующие два типа:

- с дроссельным регулированием, в которых регулирование скорости осуществляется путем дросселирования потока рабочей жидкости и отвода, минуя гидродвигатель;

- с объемным регулированием, в которых регулирование скорости осуществляется за счет изменения рабочих объемов насоса или гидродвигателя либо обеих машин одновременно.

Особое место среди регулируемых гидроприводов занимает следящий гидропривод, в котором скорость движения выходного звена изменяется по определенному закону в зависимости от задающего воздействия, величина и характер которого заранее неизвестны.

Если в объемном гидроприводе отсутствуют устройства для изменения скорости выходного звена гидродвигателя, то такие гидроприводы являются нерегулируемыми.

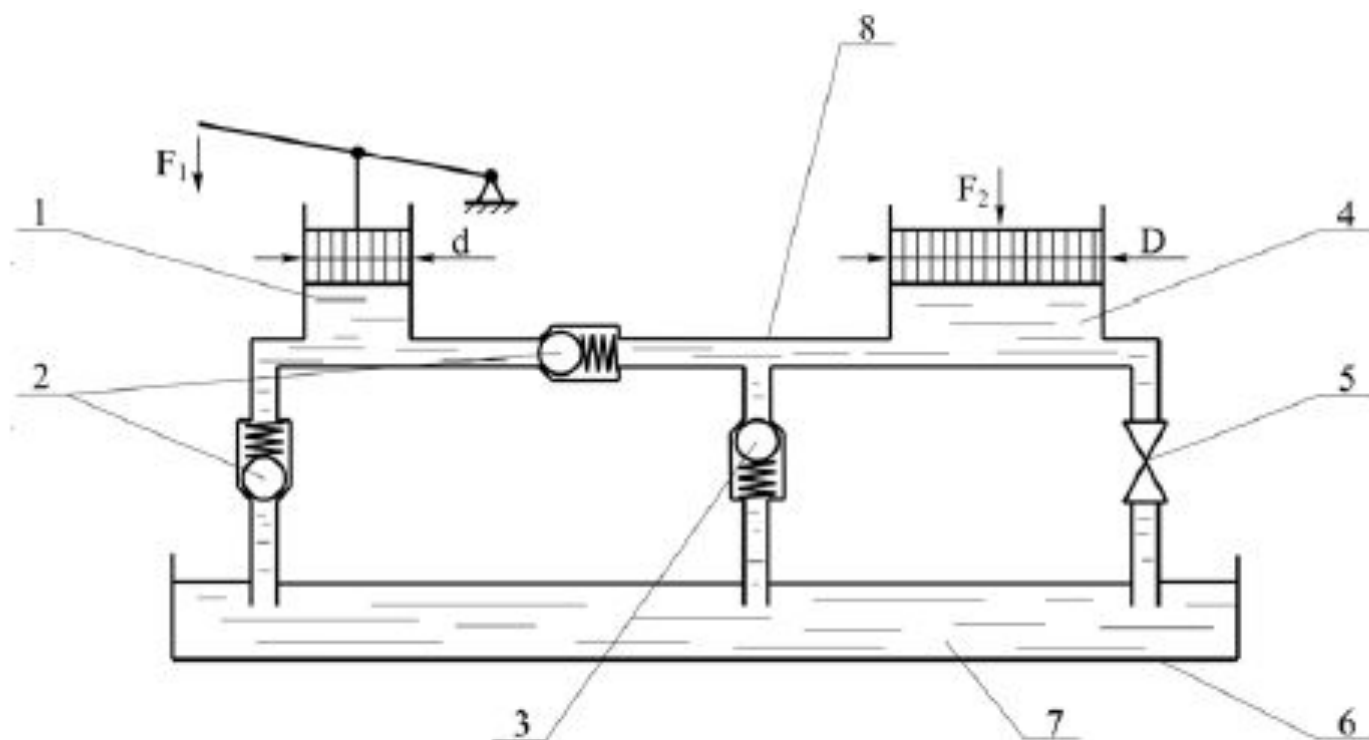


Рисунок 1.8 – Простейшая (элементарная) схема объемного гидропривода:

- 1 – плунжерный насос; 2 – обратные клапаны; 3 – предохранительный клапан;
4 – гидроцилиндр; 5 – кран; 6 – бак; 7 – рабочая жидкость; 8 – трубопровод

Источник гидравлической энергии – плунжерный насос приводится в движение рычагом под действием мускульной энергии. При движении плунжера вверх в цилиндре создается разрежение. Под действием избыточного давления жидкость из бака открывает обратный клапан и заполняет цилиндр насоса. Достигнув крайней верхней точки, плунжер движется вниз, и обратный клапан закрывается. При дальнейшем движении плунжера насоса вниз давление в замкнутом объеме поднимает поршень гидроцилиндра. Для опускания поршня гидроцилиндра предусмотрен кран ручного управления.

Для предохранения системы от перегрузки устанавливается также предохранительный клапан, который открывается, когда давление в системе превышает допустимое и жидкость из замкнутого объема сливается в бак.

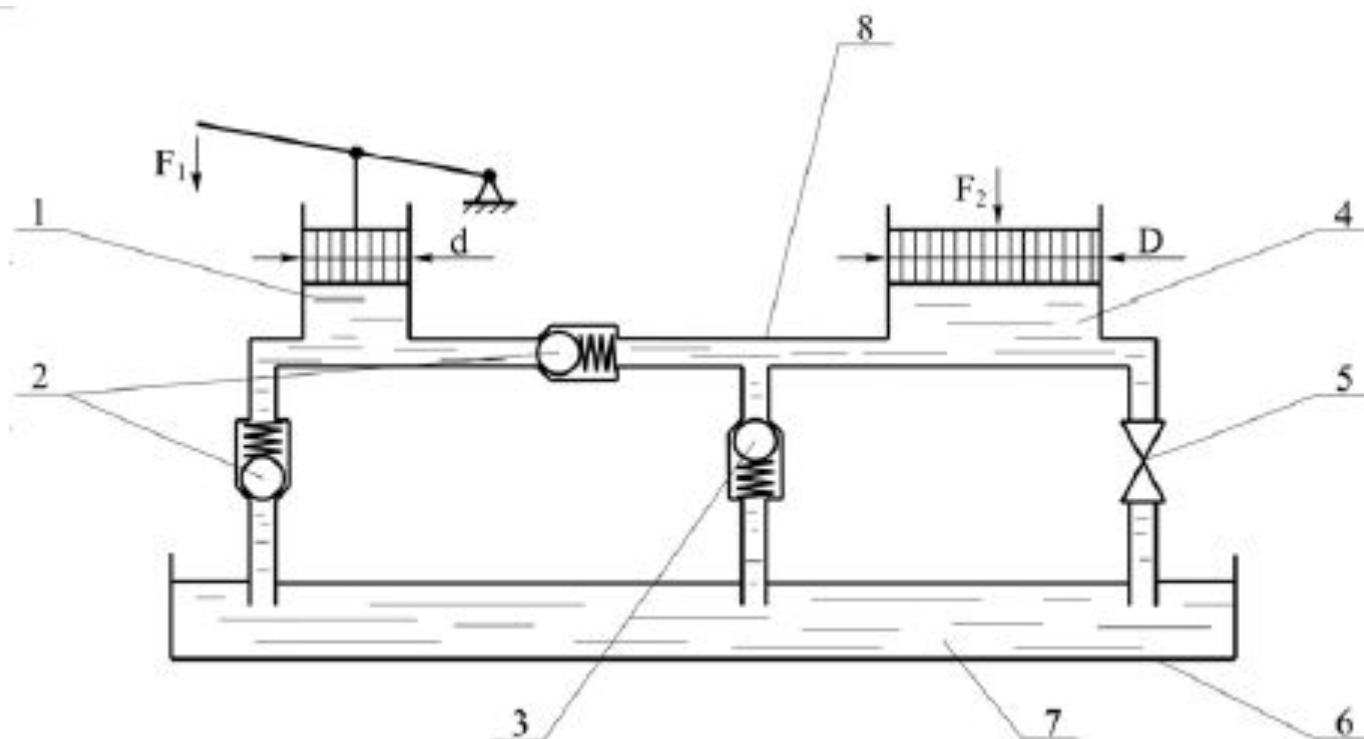


Рисунок 1.8 – Простейшая (элементарная) схема объемного гидропривода:

- 1 – плунжерный насос; 2 – обратные клапаны; 3 – предохранительный клапан;
4 – гидроцилиндр; 5 – кран; 6 – бак; 7 – рабочая жидкость; 8 – трубопровод

В гидросистемах применяют рабочие жидкости в виде минеральных масел или синтетических жидкостей. Свойства рабочих жидкостей характеризуются удельным весом, вязкостью, сжимаемостью и плотностью.

Зависимость вязкости рабочей жидкости от температуры для некоторых рабочих жидкостей представлена на рисунке 2.1 [10].

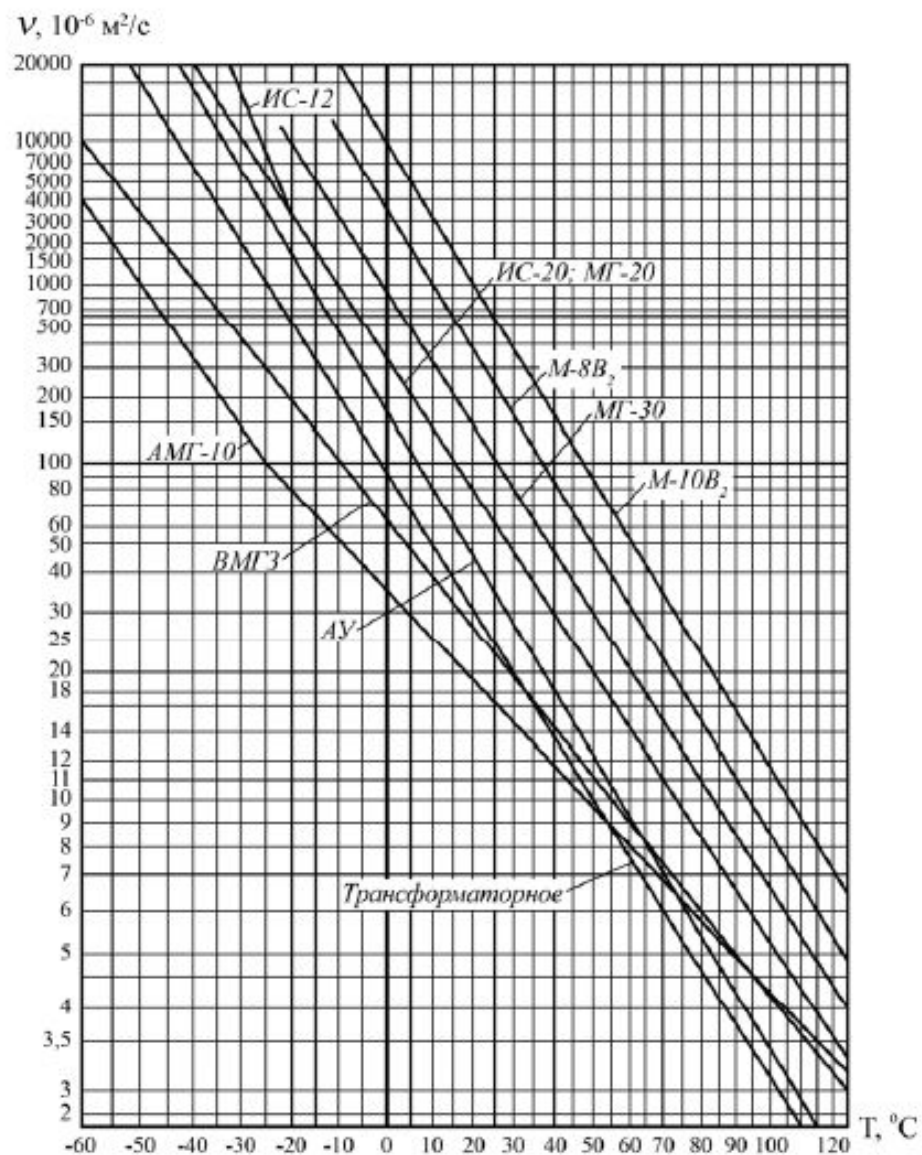


Рисунок 2.1 – Зависимость коэффициента кинематической вязкости рабочей жидкости от ее температуры

Таблица 2.1 – Основные характеристики рабочих жидкостей

Марка рабочей жидкости	Плотность, кг/м ³	Вязкость, 10 ⁻⁶ м ² /с (сСт), при температуре °С					Температура застывания*, °С	Температур- ные пределы применения, °С
		+50	+20	0	-20	-50		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Индустриальное, И-12А (ГОСТ 20799-88)	880	12	50	-	1800	-	-15	от -5 до + 60
Индустриальное, И-20А (ГОСТ 20799-88)	890	20	75	-	-	-	-15	от -5 до + 90
Индустриальное, И-30А (ГОСТ 20799-88)	890	30	160	-	-	-	-15	от +5 до + 60

Марка рабочей жидкости	Плотность, кг/м ³	Вязкость, 10 ⁻⁶ м ² /с (сСт), при температуре °С					Температура застывания*, °С	Температурные пределы применения, °С
		+50	+20	0	-20	-50		
Индустриальное, И-40А (ГОСТ 20799-88)	900	45	229	-	-	-	-15	от +5 до + 60
Веретенное АУ (ГОСТ 1642-75)	890	12	40	190	1250	20000	-45	от -30 до + 60
Трансформаторное (ГОСТ 982-56)	886	9	30	-	414	3880	-45	от -35 до + 53
Авиасмесь АМГ-10 (ГОСТ 6794-75)	870	10	16	42	130	451	-70	от -50 до + 60
Смесь ГМ-50 (ВТУ)	880	8,6	25	-	270	1400	-60	от -55 до + 55
Турбинное Т-22 (ГОСТ 32-53)	901	22	100	-	-	-	-15	от 0 до + 50
Турбинное Т-22 (ГОСТ 32-53)	901	22	100	-	-	-	-15	от 0 до + 50
Турбинное Т-30 (ГОСТ 32-53)	901	30	161	-	-	-	-10	от +10 до + 50
Дизельное Дп-8 (ТУ МИП 457-53)	918	49,5	220	-	-	-	-25	от +10 до + 100

2.3 Объемные гидродвигатели

2.3.1 Классификация гидродвигателей

Объемным гидродвигателем называется гидромашина для преобразования энергии потока рабочей жидкости в энергию движения выходного звена.

Гидродвигатели разделяют на три класса (рисунок 2.2):

1. **Гидроцилиндры** – объемные гидродвигатели с поступательным движением выходного звена;
2. **Поворотные (моментные)** гидродвигатели с ограниченным углом поворота выходного звена;
3. **Гидромоторы** – объемные гидродвигатели с вращательным движением выходного звена.

2.2 Рабочее давление в гидросистеме

При выборе рабочего давления в гидросистеме необходимо учитывать, что при увеличении давления уменьшается расход (производительность, подача) насоса, а следовательно, его размеры, а также размеры гидросети и устройств управления, то есть гидропривод становится более компактным. В то же время увеличение давления требует более дорогих насосов, высокой герметичности соединений и приводит к повышению нагрузок в отдельных узлах гидропривода.

Рабочее давление в гидросистеме может быть выбрано двумя способами.

Первый заключается в том, что при выполнении предварительных расчетов гидроприводов рабочее давление может быть принято в зависимости от величины преодолеваемой нагрузки.

Так, для гидроприводов в машиностроительной промышленности рабочее давление в зависимости от преодолеваемой нагрузки может приниматься [3]:

при $F = (10 \div 20)$ кН

$P \leq 1,5$ МПа;

при $F = (20 \div 30)$ кН

$P \leq 3,5$ МПа;

при $F = (30 \div 50)$ кН

$P \leq 5$ МПа;

при $F = (50 \div 100)$ кН

$P \leq 6,4$ МПа.

Второй способ выбора рабочего давления в гидросистеме

При выборе рабочего давления необходимо руководствоваться рядом номинальных давлений по ГОСТ 12445-80, так как на эти давления рассчитываются конструкции насосов, гидромоторов и всех других элементов гидропривода.

Ряд номинальных давлений (в МПа) в соответствии с ГОСТ 12445-80 (СТ СЭВ 518-77) приведен ниже :

0,1	0,16	0,25	0,4	0,63
1,0	1,6	2,5	4,0	6,3
10	12,5	16	20	25
32	40	50	63	80
100	125	160	200	250

Например, в гидроприводах бульдозеров, скреперов, рыхлителей и т.д. обычно применяют шестеренные насосы с номинальным давлением 10, 16 и 20 МПа, в гидроприводах экскаваторов, погрузчиков, автокранов – аксиально-поршневые насосы с номинальным давлением 16, 20, 25, 32 МПа.

2.3.2 Гидроцилиндры

Гидроцилиндры являются простейшими гидродвигателями, которые применяются в качестве исполнительных механизмов гидроприводов различных машин и механизмов с поступательным движением выходного звена.

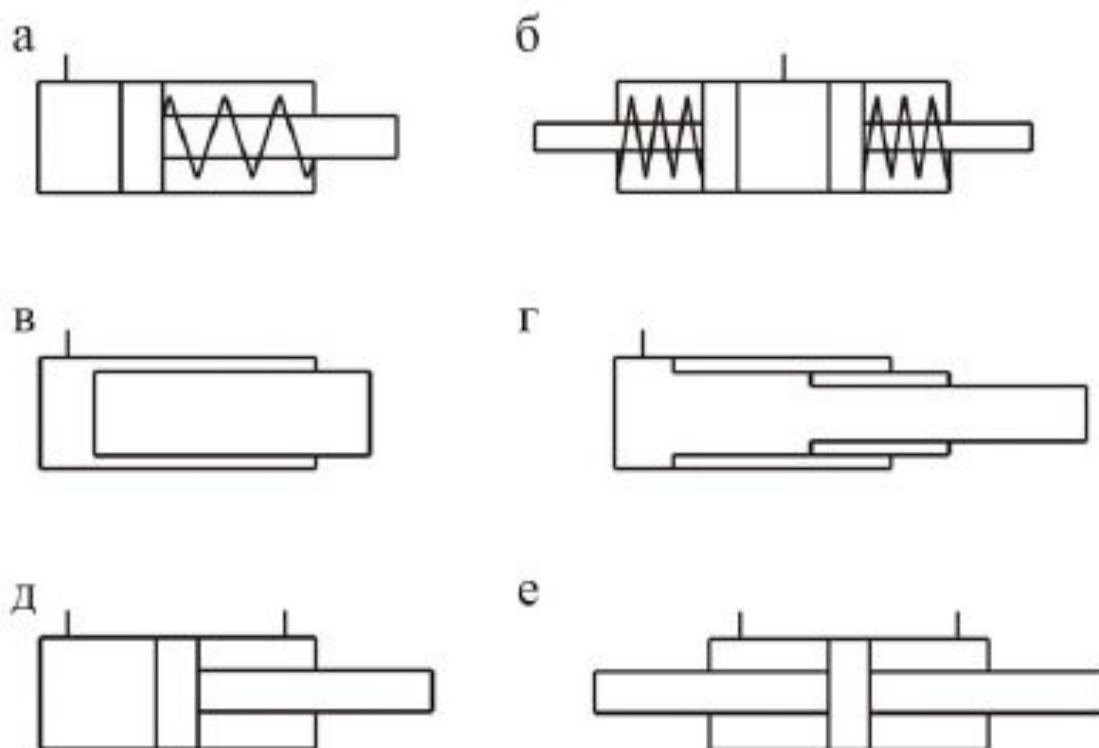
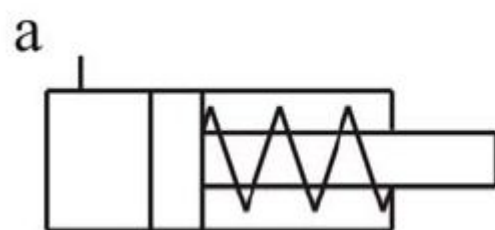
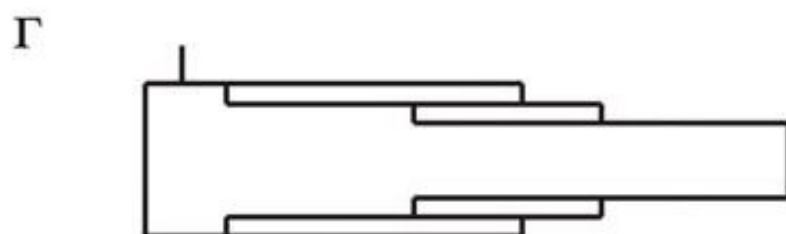
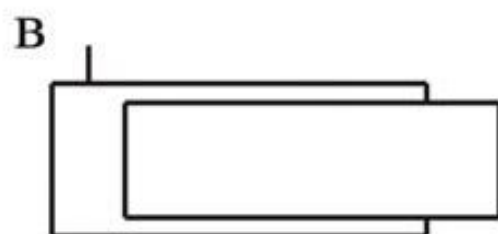


Рисунок 2.3 – Гидроцилиндры с возвратно-поступательным движением выходного звена: а – с односторонним штоком; б – с двусторонним штоком; в – плунжерный; г – телескопический; д, е – с двусторонним подводом рабочей жидкости



Гидроцилиндр одностороннего действия (рисунок 2.3 а) имеет шток с поршнем, перемещаемый силой давления жидкости в одну сторону. Обратный ход штока совершается под действием внешней силы или пружины. Рабочая жидкость подводится только в одну рабочую полость.

Гидроцилиндр двустороннего действия (рисунок 2.3 б) имеет поршень с односторонним штоком с внутренним и наружным уплотнениями. Рабочая жидкость подводится поочередно в обе рабочие полости. Движение ведомого звена в обе стороны производится под действием давления жидкости.



Силовой гидроцилиндр, имеющий несколько штоков, общий ход которых больше длины его корпуса, называется телескопическим (рисунок 2.3 г). Применяются телескопические гидроцилиндры в случаях, когда при малой длине корпуса требуется получить большой ход рабочего звена. Выдвижение штоков начинается с поршня большего диаметра.

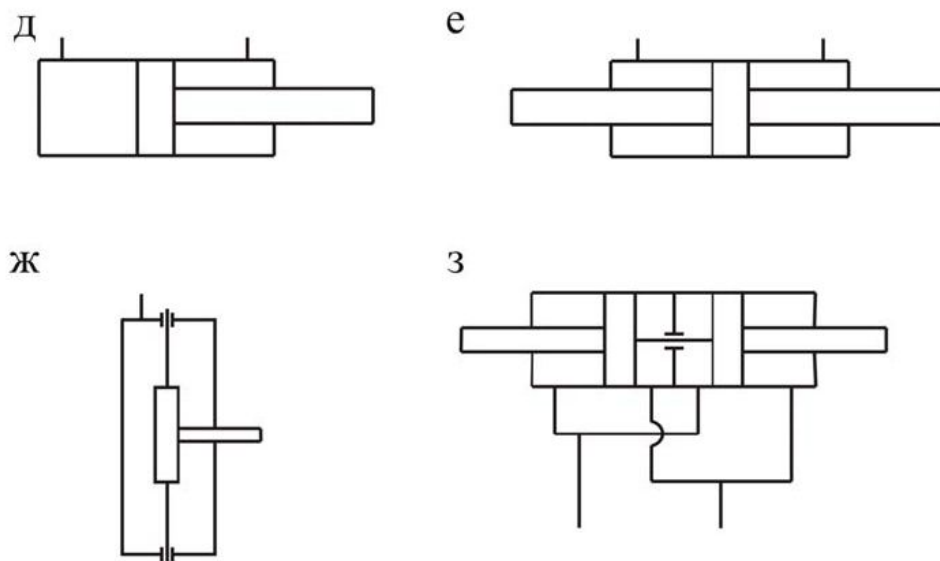


Рисунок 2.3 – Гидроцилиндры с возвратно-поступательным движением выходного звена: а – с односторонним штоком; б – с двусторонним штоком; в – плунжерный; г – телескопический; д, е – с двусторонним подводом рабочей жидкости; ж – мембранный; з – сдвоенный

В гидроцилиндрах двустороннего действия движение выходного звена в обоих направлениях осуществляется под действием потока рабочей жидкости. Такие гидроцилиндры выполняются в двух вариантах (рисунок 2.3 д, е, з):

- гидроцилиндр с односторонним штоком, в котором шток находится только с одной стороны поршня;
- гидроцилиндр с двусторонним штоком, в котором шток расположен по обе стороны поршня.

2.3.3 Конструкции гидроцилиндров

Общая схема устройства гидроцилиндра представлена на рисунке 2.4.

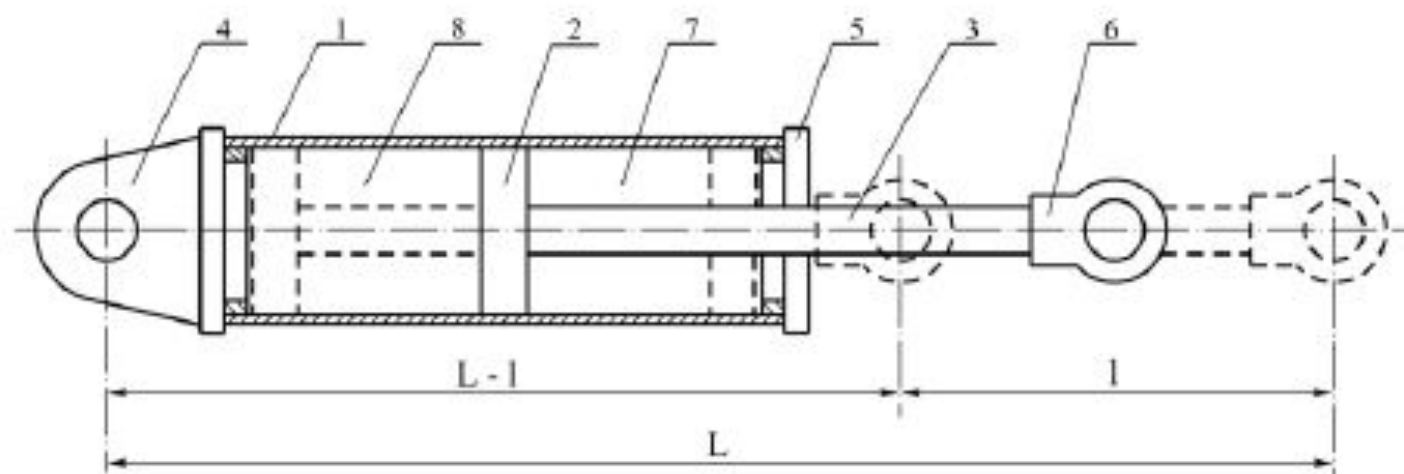


Рисунок 2.4 – Устройство гидроцилиндра: 1 – собственно цилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – задняя крышка с проушиной; 5 – передняя крышка; 6 – проушина штока (головка); 7 – штоковая полость; 8 – бесштоковая полость

Основными параметрами гидроцилиндров определенными государственным стандартом являются:

- а) диаметры гидроцилиндров;
- б) диаметры штоков;
- в) ход поршня;
- г) коэффициент мультипликации.

2.3.4 Поворотные гидродвигатели

Для возвратно-поворотных движений приводимых узлов на угол, меньший 360° , применяют поворотные гидроцилиндры (рисунок 2.5), которые представляют собой объемный гидродвигатель с возвратно-поворотным движением выходного звена.

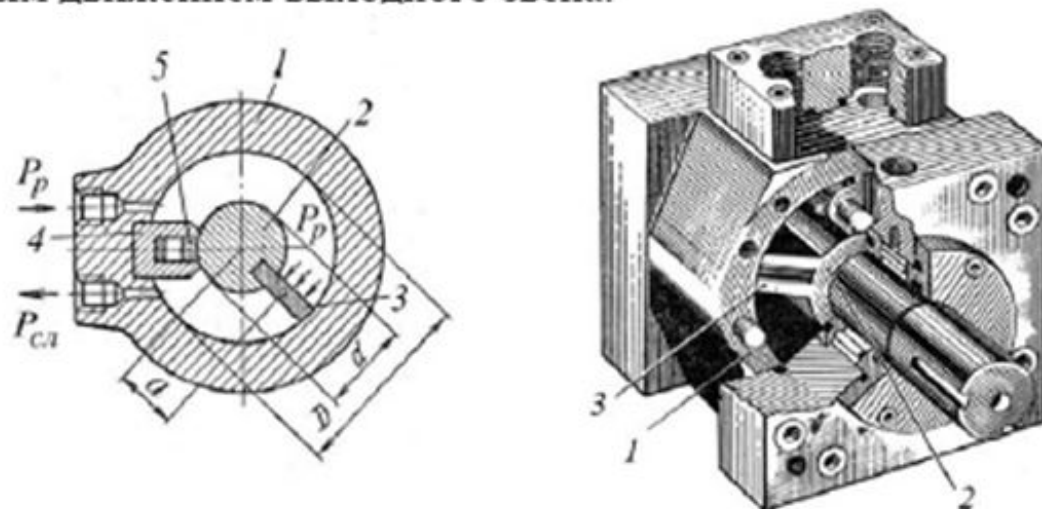


Рисунок 2.5 – Поворотный однолопастной гидроцилиндр:

Поворотный гидроцилиндр состоит из корпуса 1 и поворотного ротора 2, несущего пластину (лопасть) 3. Кольцевая полость между внутренней поверхностью цилиндра и ротором разделена уплотнительной перемычкой 4 с пружинящим поджимом к ротору уплотнительного элемента 5.

При подводе жидкости под давлением P_p в верхний канал (рисунок 2.5, а) пластина 3 с втулкой 2 будет поворачиваться по часовой стрелке. Угол поворота вала цилиндра с одной рабочей пластиной обычно не превышает $270 - 280^\circ$.

Расчетный крутящий момент M на валу рассматриваемого гидроцилиндра с одной пластиной равен произведению силы F на плечо a приложения этой силы (расстояние от оси вращения до центра давления рабочей площади пластины)

$$M = F \cdot a . \quad (2.1)$$

Усилие F определяется произведением действующего на лопасть перепада давлений на рабочую площадь пластины S

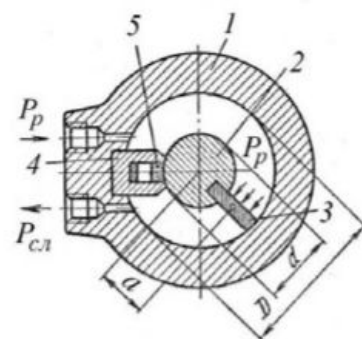
$$F = \Delta P S = (P_p - P_{cl}) S. \quad (2.2)$$

Из рисунка 2.5, а видно, что рабочая площадь пластины

$$S = \frac{D - d}{2} \cdot b , \quad (2.3)$$

где b – ширина пластины.

Плечо приложения силы



$$a = \frac{D}{2} - \frac{D - d}{4} = \frac{D + d}{4} . \quad (2.4)$$

В соответствии с этим расчетный крутящий момент

$$M = \frac{\Delta P b}{8} (D^2 - d^2). \quad (2.5)$$

Угловая скорость вращения вала

$$\omega = \frac{8Q}{(D^2 - d^2)b}. \quad (2.6)$$

Фактические момент M_Φ и угловая скорость ω_Φ будут меньше расчетных в связи с наличием потерь трения и утечек жидкости, характеризующихся механическим η и объемным $\eta_{об}$ КПД гидроцилиндра:

$$M_\Phi = \frac{\Delta P b}{8} (D^2 - d^2) \eta_M, \quad (2.7)$$

$$\omega_\Phi = \frac{8Q}{(D^2 - d^2)b} \eta_{об}. \quad (2.8)$$

Применяются также и многопластинчатые поворотные гидроцилиндры (рисунок 2.6), которые позволяют увеличить крутящий момент, однако угол поворота при этом уменьшится. Момент и угловая скорость многопластинчатого гидроцилиндра:

$$M_{\Phi} = \frac{\Delta P b z}{8} (D^2 - d^2) \eta_M, \quad (2.9)$$

$$\omega_{\Phi} = \frac{8Q}{z(D^2 - d^2)b} \eta_{об}, \quad (2.10)$$

где z – число пластин.

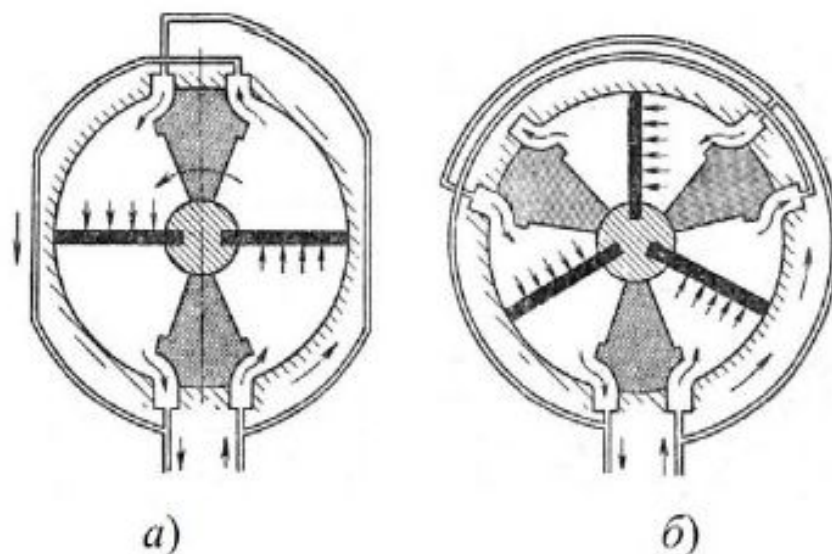


Рисунок 2.6 – Поворотные гидроцилиндры: а – двухлопастной;
б – трехлопастной

2.4 Основы расчета гидроцилиндров

Основными рабочими и конструктивными параметрами силовых гидроцилиндров являются: внутренний диаметр цилиндра, развиваемое усилие, расход жидкости, мощность и КПД.

Внутренний диаметр цилиндра D является главным параметром; он характеризует геометрические размеры и технологию изготовления гидроцилиндра. По этому параметру определяют усилие на штоке и скорость движения поршня при рабочем ходе. По диаметру штока d определяют развиваемое усилие и скорость при холостом ходе.

2.4.1 Приближенный расчет основных параметров силового гидроцилиндра

Диаметр силового гидроцилиндра (без учета потерь давления на преодоление дополнительных нагрузок) определяют по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi P_p}}, \quad (2.13)$$

где F – полезная нагрузка, приведенная к штоку;
 P_p – рабочее давление в цилиндре, принимаемое в зависимости от F (см. раздел 2.2).

По вычисленному в соответствии с формулой (2.13) расчетному диаметру D подбирают ближайший больший нормализованный диаметр. Внутренний диаметр гидроцилиндров нормализован ГОСТ 6540-68 и имеет следующие значения в мм:

Основной ряд:	10	12	16	20	25	32	40	50
	63	80	100	125	160	200	250	320
	400	500	630	800				
Дополнительный ряд:	36	45	56	70	90	110	140	180
	220	280	450	560	710	900		

Диаметр штока d определяется в зависимости от величины хода поршня S . Если выполняется условие $S \leq 10D$, можно принимать:

при $P_p \leq 2,5$ МПа	$d = (0,3 \div 0,35)D$;
при $P_p \leq (6,4 \div 10)$ МПа	$d = 0,5D$;
при $P_p \leq (16 \div 25)$ МПа	$d = (0,7 \div 0,75)D$.

По вычисленному значению диаметра штока принимается ближайший больший, согласно ГОСТ 6540-68:

Основной ряд:	10	12	16	20	25	32	40	50
	63	80	100	125	160	200	250	320
	400	500	630	800				
Дополнительный ряд:	14	18	22	28	36	45	56	70
	90	110	140	180	220	280	360	450
	560	710	900					

Расчет гидроцилиндра на устойчивость

Гидроцилиндры в процессе эксплуатации под действием рабочего давления работают как сжато-изогнутые балки переменного сечения. Для обеспечения работоспособности цилиндра необходимо убедиться в устойчивости штока под действием нагрузки.

Для определения устойчивости гидроцилиндра при известном рабочем усилии на штоке гидроцилиндра можно воспользоваться следующей методикой [13].

По схемам (рисунок 2.12) определяется фактор хода гидроцилиндра F_C в зависимости от способа крепления гидроцилиндра.

Далее определяется опорная длина штока гидроцилиндра L_0

$$L_0 = F_C \cdot S, \quad (2.31)$$

где S – ход штока гидроцилиндра.

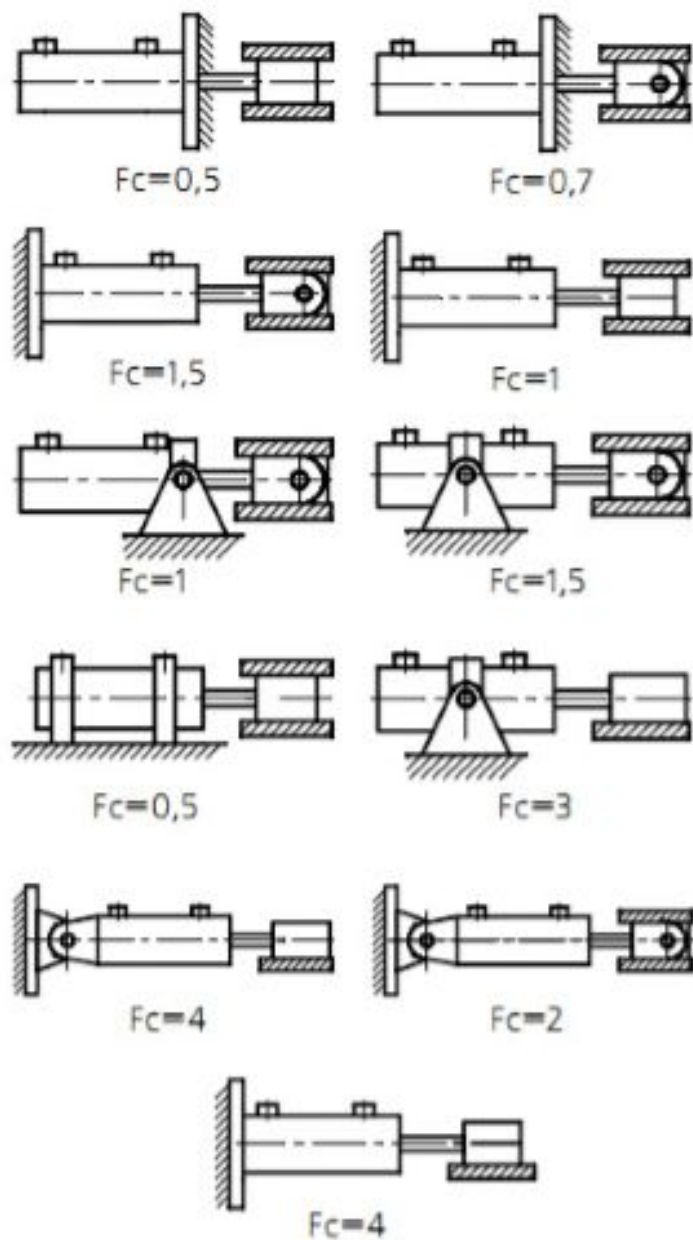


Рисунок 2.12 – Способ крепления гидроцилиндра

НАСОСЫ И ГИДРОМОТОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ОБЪЕМНОМ ГИДРОПРИВОДЕ

Назначение, классификация насосов и гидромоторов

Насосы в системе гидропривода предназначены для преобразования механической энергии приводящего двигателя в гидравлическую энергию перемещаемой жидкости, для обеспечения рабочего давления гидросистемы, надежного функционирования элементов гидропривода.

В объемных гидроприводах применяются насосы, в которых перемещение жидкости из полости всасывания в полость нагнетания осуществляется путем ее вытеснения из рабочих камер с помощью вытеснителей (объемные насосы).

В гидроприводах применяются следующие виды насосов: поршневые, плунжерные, диафрагмовые, шестеренчатые, лопастные, винтовые и ротационно-поршневые. Эти насосы являются обратимыми: они могут применяться в гидроприводах как насосы для преобразования механической энергии двигателя в гидравлическую или же для превращения гидравлической энергии насоса в механическую, то есть использоваться как гидродвигатели.

3.2 Шестеренные насосы

Шестеренные насосы выполняются с внешним и внутренним зацеплением шестерен. Наибольшее распространение имеют насосы с внешним зацеплением шестерен; такие насосы могут быть одно- и двухсекционные.

Схема шестеренного насоса представлена на рисунке 3.2. При вращении ведущей 1 и ведомой 2 шестерни рабочая жидкость из всасывающей камеры А в полостях впадин зубьев переносится в нагнетательную камеру В.

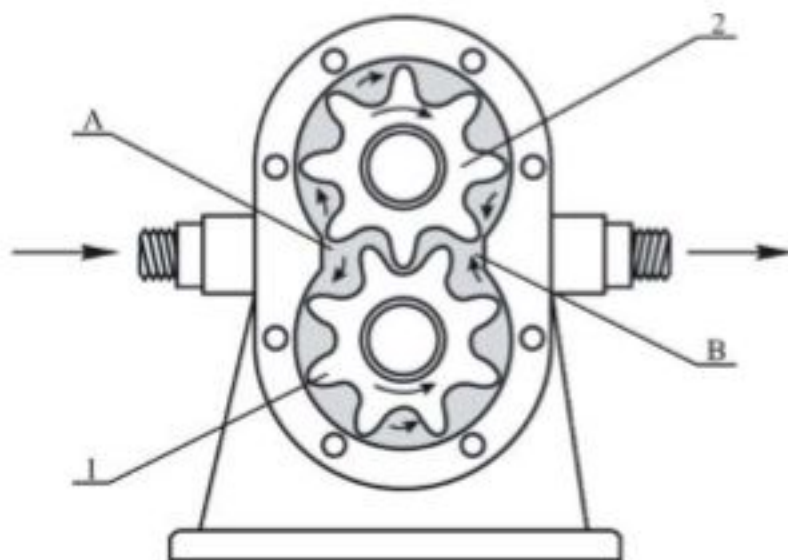


Рисунок 3.2 – Схема шестеренного насоса

Производительность шестеренного насоса может быть определена по формуле

$$Q = 2\pi \frac{D_H^2}{z} b n \eta_v k, \quad (3.1)$$

где D_H – диаметр начальной окружности шестерни; при одинаковых шестернях D_H равен расстоянию между центрами шестерен;
 z – число зубьев;
 b – ширина зуба;
 n – частота вращения;
 η_v – объемный КПД;
 k – поправочный коэффициент, равный $\approx 1,1$.

В таблице 3.1 приведены основные характеристики некоторых типовых шестеренных насосов.

Таблица 3.1 – Основные параметры шестеренных насосов

Марка насоса	Рабочий объем, см ³	Подача, л/мин	Давление нагнетания, МПа	Частота вращения, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД	
						объемный	полный
1	2	3	4	5	6	7	8
НШ-10-2	10	17,7	14	1920	5,6	0,9	0,85
НШ-50А-3	49,7	110,4	16	2400	39	0,92	0,82
НШ6Т1	6,3	11,3	2,5	2000	0,67	0,92	0,83
НШ6Е-3	6,3	10	16	1920	3,97	0,85	0,75
НШ10Е	10	13,8	10	1500	2,94	0,92	0,82
НШ10Е-2	10	17,7	10	1500	5,52	0,92	0,80
НШ32-У	31,7	47,3	10	1500	10,9	0,92	0,75
НШ32У-2	32	56	14	1920	16,0	0,92	0,80
НШ32-2	32	55,6	14	1920	15,4	0,92	0,80

Пластинчатые насосы

Пластинчатые насосы, применяемые в гидроприводах, разделяют на насосы одно-, двух- и многократного действия. В насосах однократного действия жидкость вытесняется из рабочей камеры один раз за один оборот ротора, в насосах двукратного действия – 2 раза, а в насосах многократного действия – несколько раз [3].

На рисунке 3.3 приведена простейшая схема пластинчатого насоса однократного действия.

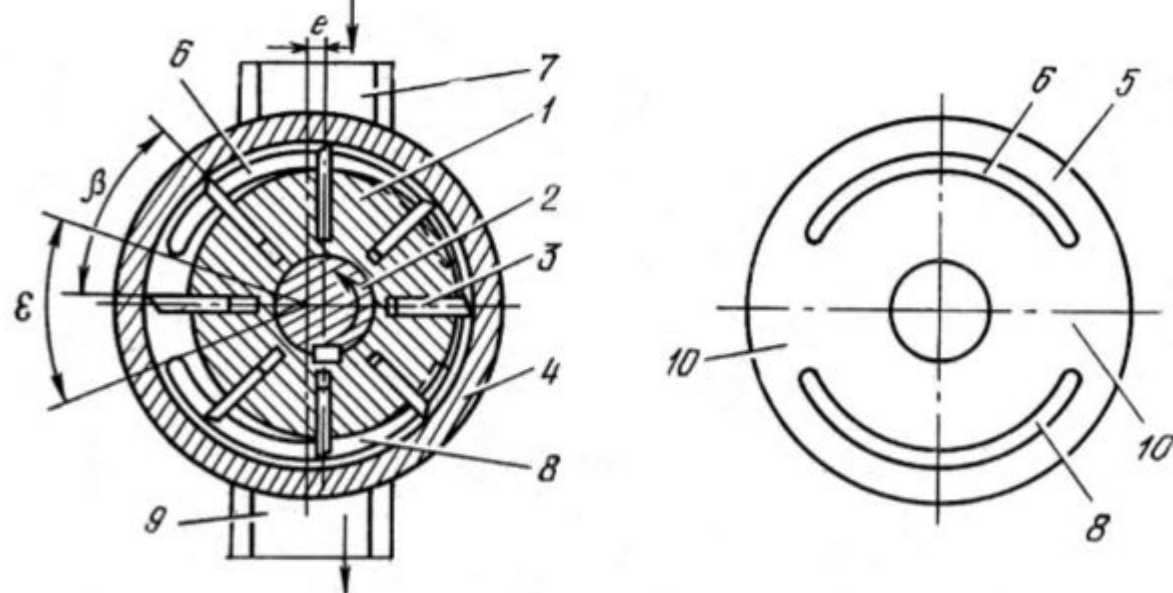


Рисунок 3.3 – Схема пластинчатого насоса однократного действия:
 1 – ротор; 2 – приводной вал; 3 – пластины; 4 – статор; 5 – распределительный диск;
 6, 8 – окна; 7 – гидролиния всасывания; 9 – гидролиния нагнетания;
 10 – уплотнительные перемычки

Насос состоит из ротора 1, установленного на приводном валу 2. В роторе имеются радиальные пазы, в которые вставлены пластины 3. Статор 4 по отношению к ротору расположен с эксцентриситетом e . К торцам статора и ротора прилегают торцевые распределительные диски 5.

Окно 6 каналами в корпусе насоса соединено с гидролинией всасывания 7, а окно 8 – с напорной гидролинией 9. Между окнами имеются уплотнительные перемычки 10,

Жидкость из линии всасывания через окна распределительных дисков вначале поступает в рабочие камеры, а затем через другие окна вытесняется из них в напорную линию.

Подачу пластинчатого насоса однократного действия определяют по формуле

$$Q = \eta_o \left[2\pi(r - e) - \frac{\delta z}{\cos \alpha} \right] b \cdot 2en, \quad (3.2)$$

где η_o – объемный КПД, принимаемый в пределах $0,75 \div 0,98$;
 r – радиус внутренней поверхности статора;
 e – величина эксцентриситета;
 δ – толщина одной пластины;
 z – число пластин;
 α – угол наклона одной пластины (обычно $\alpha = 0 \div 15^\circ$);
 b – ширина пластин в осевом направлении;
 n – частота вращения.

В таблице 3.2 приведены технические характеристики пластинчатых насосов типа Г11 и БГ11 [14].

Таблица 3.2 – Технические характеристики пластинчатых насосов типа Г11 и БГ11.

Основные параметры	БГ11, БГ11-22А	Г11-22, БГ11-22	Г11-23А, БГ11-23А	Г11-23, БГ11-23	Г11-24А, БГ11-24А	Г11-24, БГ11-24	Г11-25А, БГ11-25А	Г11-25, БГ11-25
Рабочий объем, см ³	11	16	22	32	40	56	80	100
Частота вращения вала, об/мин	600	600	600	600	1800	1800	1800	1800
Номинальная подача, л/мин	12,3	18	26	38	50	72	104	133
Номинальное давление, МПа	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Объемный КПД	0,76	0,78	0,80	0,82	0,88	0,89	0,91	0,92
Полный КПД	0,54	0,56	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76	0,77

В таблице 3.3 приведены технические характеристики пластинчатых нерегулируемых насосов типа Г12 [14].

Роторно-поршневые насосы

Роторно-поршневыми называются насосы, в которых вытеснители имеют форму поршней (плунжеров), а рабочие камеры ограничиваются вытеснителями в цилиндрических полостях ротора.

Различают радиальные и аксиальные роторно-поршневые насосы. В радиальных насосах рабочие камеры расположены радиально по отношению к оси ротора. Если ось вращения ротора параллельна осям рабочих камер, насос называется аксиально-поршневым

Радиальные роторно-поршневые насосы

Радиально-поршневые гидромашины применяют при сравнительно высоких давлениях (10 МПа и выше). По принципу действия радиально-поршневые гидромашины делятся на одно-, двух- и многократного действия. В машинах однократного действия за один оборот ротора поршни совершают одно возвратно-поступательное движение. Схема радиально-поршневого насоса однократного действия приведена на рисунке 3.5.

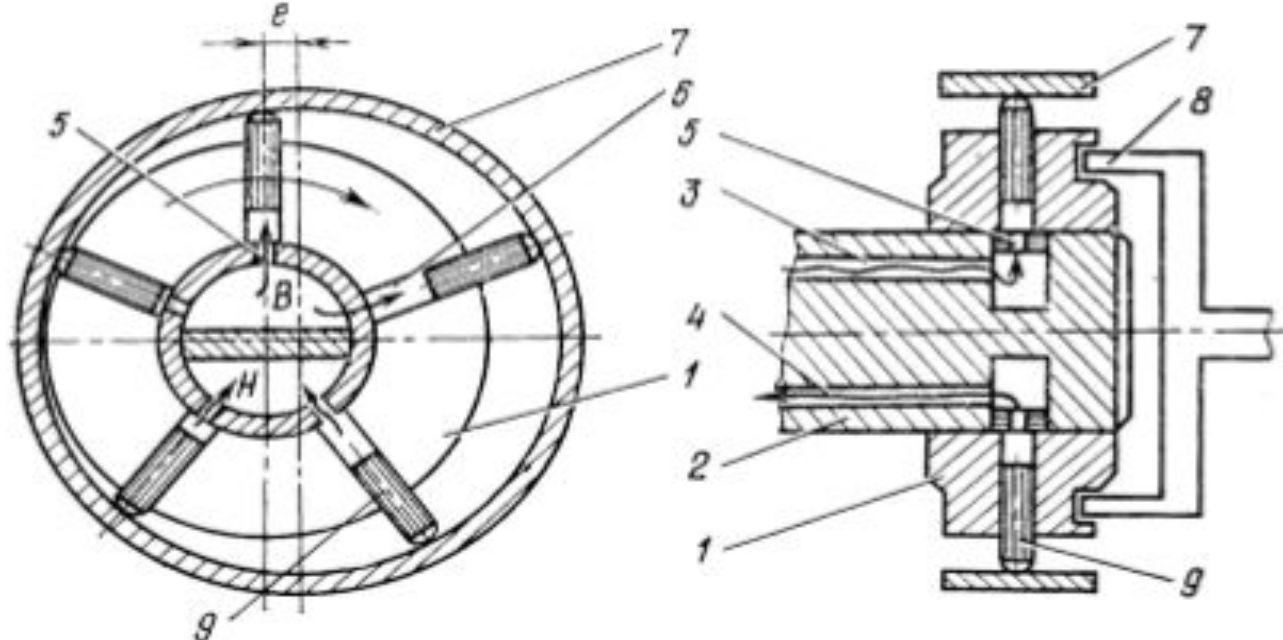


Рисунок 3.5 – Схема радиально-поршневого насоса однократного действия: 1 – ротор; 2 – ось; 3 – всасывающий канал; 4 – нагнетательный канал; 5 – окна; 6 – цилиндры; 7 – статор; 8 – муфта; 9 – поршни

Ротор (блок цилиндров) 1 на скользящей посадке установлен на ось 2, которая имеет два канала 3 и 4 (один соединен с гидролинией всасывания, другой – с напорной гидролинией). Каналы имеют окна 5, которыми они могут соединяться с цилиндрами 6. Статор 7 по отношению к ротору располагается с эксцентриситетом.

Ротор вращается от приводного вала через муфту 8. При вращении ротора поршни 9 вначале выдвигаются из цилиндров, а затем вдвигаются (нагнетание). Соответственно рабочая жидкость вначале заполняет цилиндры, а затем поршнями вытесняется оттуда в канал 4 и далее в напорную линию гидросистемы.

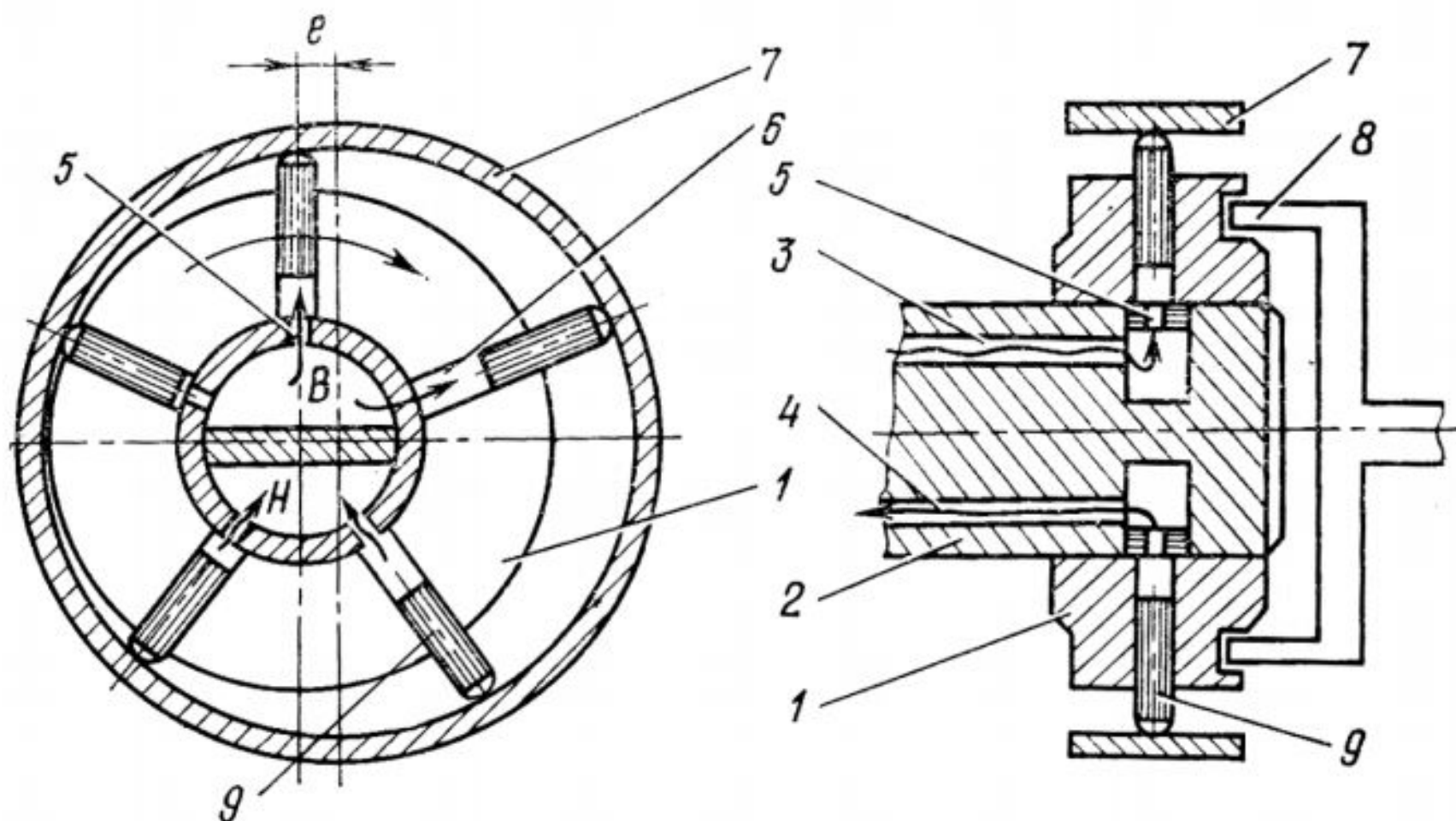


Рисунок 3.5 – Схема радиально-поршневого насоса однократного действия: 1 – ротор; 2 – ось; 3 – всасывающий канал; 4 – нагнетательный канал; 5 – окна; 6 – цилиндры; 7 – статор; 8 – муфта; 9 – поршни

Средняя подача нерегулируемого и регулируемого радиально-поршневого насоса определяется соответственно по формулам (3.4), (3.5)

$$Q = \eta_o \pi d^2 e z m i / 2 ; \quad (3.4)$$

$$Q = \eta_o \pi d^2 e z i u_e n / 2 , \quad (3.5)$$

где d – диаметр поршня;
 e – эксцентриситет; величина которого находится в пределах $3 \div 10$ мм;
 $u_e = e/e_{\max}$ – параметр регулирования;
 m – число ходов поршня за один оборот вала насоса;
 i – число рядов поршня.

Промышленность выпускает регулируемые насосы типа НП, НПД и нерегулируемые – типа Н с давлением до 50 МПа.

Радиально-поршневые насосы имеют четыре модификации по управлению:

- НРР – насосы с ручным управлением нереверсивные;
- НРРШ – насосы с ручным управлением, нереверсивные, с встроенным шестеренным насосом для питания вспомогательных механизмов гидросистемы;
- НРС и 2НРС – насосы со следящим гидравлическим управлением (НРС – нереверсивные ; 2НРС – реверсивные);
- НРМ и НР4М – насосы с электрогидравлическим механизмом управления на две и четыре подачи (реверсивные);
- НРД – насосы с управлением по давлению (нереверсивные).

В качестве примера рассмотрим расшифровку насоса 2НРС 250Д/20: цифра 2 – реверсивный, радиально-поршневой со следящим гидравлическим управлением; 250 – величина рабочего объема в см³; Д – модернизированный; 20 – номинальное давление в МПа.

Таблица 3.5 – Основные параметры радиально-поршневых регулируемых насосов

Параметр	НРР	НРШ	НРС	НРМ	НР4М	НРМ	НРД		
	125А/ 20	250А/ 20	500А/ 20	450/10	224/10	360/1 0	125А/ 20	250А/ 20	500А/ 20
Рабочий объем насоса, см ³ : поршневого шестеренного	125 50	250 100	500 100	450 100	224 50	360 80	125 50	250 100	500 100
Номинальная подача насоса, л/мин: поршневого шестеренного	100 35	200 80	400 80	400 80	200 35	300 60	46 35	110 80	250 80
Номинальное давление насоса, МПа: поршневого шестеренного	20 1,6	20 1,6	20 1,6	10 1,6	10 1,6	10 1,6	20 1,6	20 1,6	20 1,6
КПД насоса, %: объемный полный	85 77	85 77	87 77	90 85	90 83	90 81	85 77	85 77	87 77

Таблица 3.6 – Основные параметры радиально-поршневых нерегулируемых насосов

Марка насоса	Подача Q, л/с	Давление P, МПа	Частота вращения n, об/мин	КПД насоса	
				объемный η_o	общий η
Н-400	0,083	20	1450	-	0,58
Н-401	0,3	32	1450	-	0,73
Н-403	0,5	32	1450	-	0,76
Н-450	0,05	50	980	0,70	-
Н-451А	0,083	50	980	0,80	-
Н-451	0,133	50	980	0,80	-
Н-518	14	16	1000	-	-
НП-500	0,027	40	1420	-	-

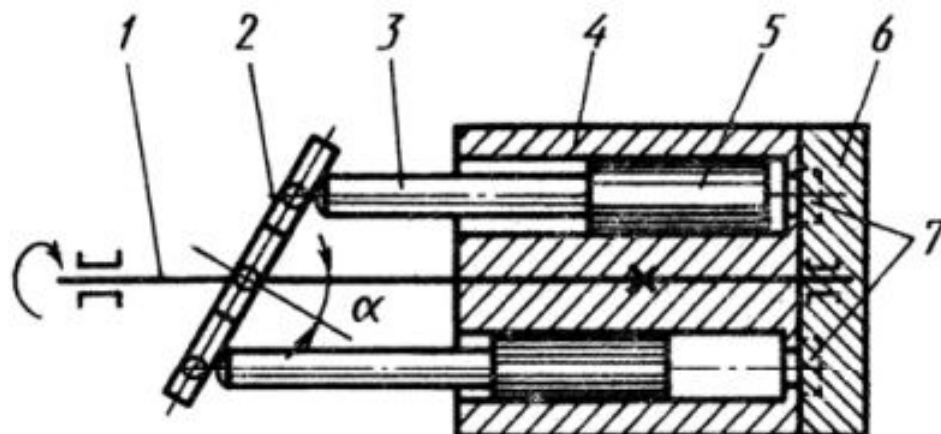


Рисунок 3.6 – Схемы аксиально-поршневых гидромашин: с наклонным диском; 1 – ведущий вал; 2 – диск; 3 – шток; 4 – блок цилиндров; 5 – поршень; 6 – распределитель; 7 – пазы

Гидромашина с наклонным диском включает в себя блок цилиндров, ось которого совпадает с осью ведущего вала 1, а под углом α к нему расположена ось диска 2, с которым связаны штоки 3 поршней 5.

При повороте блока вокруг оси насоса на 180° поршень совершает поступательное движение, выталкивая жидкость из цилиндра. При дальнейшем повороте на 180° поршень совершает ход всасывания.

В блоке цилиндров выполнены отверстия, соединяющие каждый из цилиндров блока с распределителем. Если в гидромашину через каналы подавать под давлением рабочую жидкость, то, действуя на поршни, она заставляет их совершать возвратно-поступательное движение, а они, в свою очередь, вращают диск и связанный с ним вал.

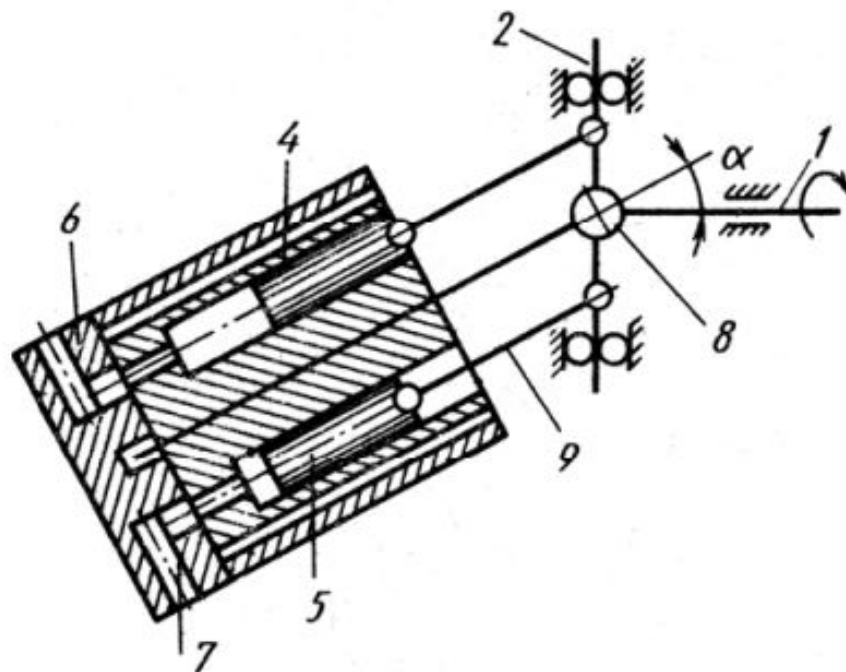


Рисунок 3.6 – Схемы аксиально-поршневых гидромашины с наклонным блоком;
 1 – ведущий вал; 2 – диск; 3 – шток; 4 – блок цилиндров;
 5 – поршень; 6 – распределитель; 7 – пазы; 8 – шарнир; 9 – шатун

Блок 4 цилиндров с поршнями 5 и шатунами 9 наклонен относительно приводного диска 2 вала 1 на некоторый угол. Блок цилиндров получает вращение от вала через универсальный шарнир 8. При вращении вала поршни 5 и связанные с ними шатуны 9 начинают совершать возвратно-поступательные движения в цилиндрах блока, который вращается вместе с валом. Один из пазов 7 в распределителе 6 соединен со всасывающим трубопроводом, другой – с напорным.