2. ОБЪЕМНЫЕ ГИДРОПЕРЕДАЧИ

2.1. Устройство, принцип действия и классификация гидроприводов

Приводом называется совокупность устройств, обеспечивающих реализацию и регулирование, в том числе дистанционное, автоматическое и полуавтоматическое (т. е. наличие человека-оператора), движений, положений или усилий на исполнительных органах машин и технологического оборудования. Различают механический, электрический, пневматический, гидравлический приводы. В механическом приводе движение передается и преобразуется посредством твердых тел; в электрическом – посредством электричества; в пневматическом – сжатым газом, а в гидравлическом – жидкостью под давлением.

Гидропривод состоит из гидропередачи, устройства управления, вспомогательных устройств и вспомогательных линий.

Гидропередача является силовой частью гидропривода. В нее входят насос, гидродвигатель и магистральная линия. В насосе механическая энергия приводного двигателя преобразуется в энергию потока рабочей жидкости (гидравлическую энергию), а в гидродвигателе гидравлическая энергия преобразуется снова в механическую (энергию прямолинейного движущегося поршня или вращающегося ротора). Магистральная линия служит для передачи рабочей жидкости от насоса к гидродвигателю и обратно и состоит из всасывающей, напорной и сливной линий.

Устройства управления (распределители и регуляторы) служат для управления потоком жидкости. В общем случае устройствами управления воздействуют или на насос, или на поток рабочей жидкости в магистральной линии, или на гидродвигатель.

Вспомогательные устройства (фильтры, клапаны, охладительные устройства, гидроаккумуляторы, резервуары) выполняют

функции хранения и поддержания необходимого качества рабочей жидкости.

Вспомогательные линиисоединяют устройство управления или вспомогательное устройство с магистральной линией.

По роду гидропередач гидроприводы делят на объемные и гидродинамические.

По системе питания насосов гидроприводы бывают с разомкнутой, замкнутой и комбинированной системами циркуляции рабочей жидкости.

К основным преимуществам гидропривода относят:

- возможность передачи больших сил и мощностей при относительно небольших размерах установок;
- широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости выходного звена, что позволяет осуществить рациональный режим работы исполнительных органов машины;
- возможность получения характеристик в соответствии с нагрузочными характеристиками машин, что улучшает эксплуатационные качества последних;
- простота реверсирования без необходимости изменения направления вращения приводного двигателя;
- возможность получения главных движений и частых быстрых переключений на ходу машины;
- возможность применения систем автоматического, программного и дистанционного управления, оперативного контроля манометрами величин сил и давлений.

Из недостатков гидравлического привода можно отметить следующее:

- понижение коэффициента полезного действия гидропривода при значительных скоростях движения жидкости ввиду повышенных потерь энергии на преодоление гидравлических сопротивлений;
- проникновение воздуха в рабочую жидкость вызывает явление гидравлического удара, что снижает надежность соединений и уплотнений;

- нагрев рабочей жидкости, что в ряде случаев требует применения средств тепловой защиты;
- утечка жидкости и в определенной степени ее сжимаемость влияют на точный расчет движения.

Уменьшить влияние отмеченных недостатков на работу машин можно при правильном выборе гидросхем и конструировании гидроузлов.

Объемным гидроприводом называют совокупность устройств в составе одного или нескольких объемных гидродвигателей, приводимых в движение посредством рабочей жидкости под давлением. Таким образом, основой объемного гидропривода является гидростатическое давление, а следствием – перемещение объемов жидкости под давлением в замкнутом пространстве – движение рабочих органов (гидродвигателей). Объемная гидропередача составляет часть объемного гидропривода и служит для передачи движения от приводного двигателя к машинам и механизмам.

В объемных гидроприводах обычно используют роторные насосы: роторно-поршневые, пластинчатые, винтовые, шестеренные.

Объемный гидропривод, в котором рабочую жидкость подают в объемный гидродвигатель насосом, называют насосным. В состав насосного гидропривода входят насос (источник гидравлической энергии) и гидродвигатель (приемник гидравлической энергии), соединенные трубопроводами, а также гидроаппаратура, управляющая работой гидропривода.

Принцип действия объемного гидропривода основан на малой сжимаемости рабочей жидкости и ее способности передавать оказываемое на нее давление (закон Паскаля). В объемном гидроприводе пьезометрический напор $p/(\rho g)$ с помощью объемных гидродвигателей преобразуется в механическую энергию. Удельной энергией положения и удельной кинетической энергией жидкости при расчете объемных гидроприводов обычно пренебрегают ввиду их незначительной величины в сравнении с напором.

На рисунке 2.1 показана принципиальная схема объемного гидропривода с возвратно-поступательным движением поршня силового гидроцилиндра (гидродвигателя). Рабочая жидкость из резервуара 1 насосом 2 нагнетается в коллектор 3 и далее через четырехлинейный распределительный орган 4 – в левую или правую полости гидравлического цилиндра 5. Из нерабочей полости цилиндра жидкость через другие ходы распределительного органа вытесняется в резервуар. Клапан 6, отрегулированный на определенное давление, предохраняет систему от перегрузок.

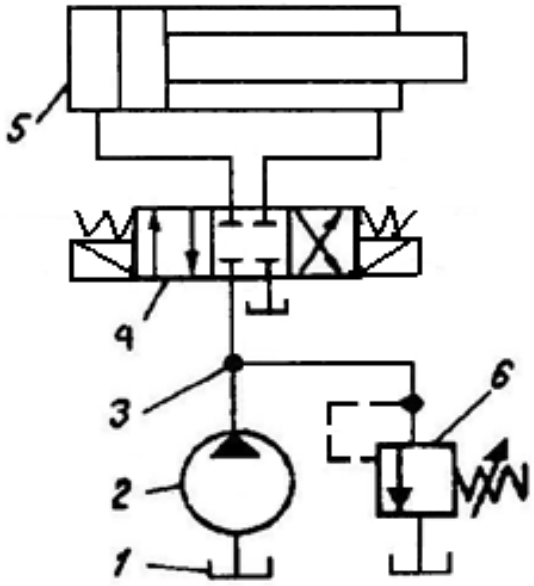


Рис. 2.1. Принципиальная схема объемного гидропривода:
1 – бак; 2 – насос; 3 – коллектор; 4 – трехпозиционный четырехходовой распределитель; 5 – силовой гидроцилиндр;
6 – предохранительный клапан

Во избежание значительной пульсации жидкости, нагнетаемой насосом, его, как правило, выполняют многоцилиндровым или же в системе включают аккумулятор.

Насос и гидравлический цилиндр с поршнем работают по принципу сообщающихся сосудов. Жидкость, вытесняемая поршнем из цилиндра насоса, по трубопроводам поступает в рабочую полость гидравлического цилиндра, сообщая движение поршню. Если пренебречь сжимаемостью жидкости и утечками ее через неплотно-

сти, то объем жидкости, нагнетаемой насосом, можно считать равным объему жидкости, расходуемой исполнительным механизмом. Таким образом, жидкость в объемном гидравлическом приводе работает как транслятор или преобразователь силы и скорости.

Основными рабочими элементами гидродинамического гидропривода – гидродинамической передачи – являются колесо центробежного насоса и колесо турбины. Рабочее колесо центробежного насоса насажено на ведущий вал (вал двигателя). Колесо турбины закреплено на ведомом валу, соосном с ведущим валом. Оба колеса предельно сближены (зазор 3…10 мм). При вращении ведущего вала, а следовательно, и рабочего колеса центробежного насоса рабочая жидкость проходит через лопастные каналы и выбрасывается по периферии колеса, попадая непосредственно или через направляющие аппараты на лопасти турбины, приводя ее во вращение.

При выходе из колеса турбины рабочая жидкость вновь попадает на вход колеса центробежного насоса, и цикл повторяется. Таким образом, механическая энергия насосного колеса сначала передается потоку рабочей жидкости, а через него и турбинному колесу.

Гидродинамические передачи разделяют на гидромуфты (гидросцепления)(рис. 2.2) и гидротрансформаторы(рис. 2.3).

Гидромуфта не имеет направляющих аппаратов, трансформирующих энергию потока, и состоит из рабочего колеса центробежного насоса, установленного на ведущем валу, и колеса турбины, закрепленного на ведомом валу. Изменение частоты вращения ведомого вала достигают регулированием производительности насоса путем изменения частоты вращения ведущего вала, степени заполнения рабочих полостей жидкостью, а также раздвижением колес и изменением площади сечения рабочего потока. Из-за отсутствия направляющего аппарата потери напора в гидромуфте незначительны, коэффициент полезного действия достигает 0,95…0,97.

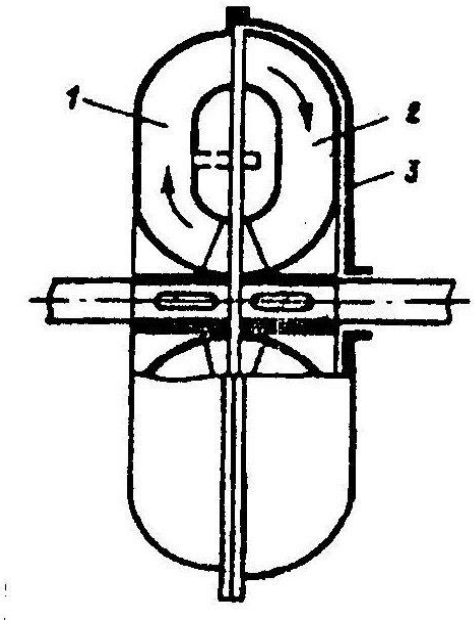


Рис. 2.2. Схема гидромуфты:
1 – насосное колесо;
2 – турбинное колесо;
3 – корпус

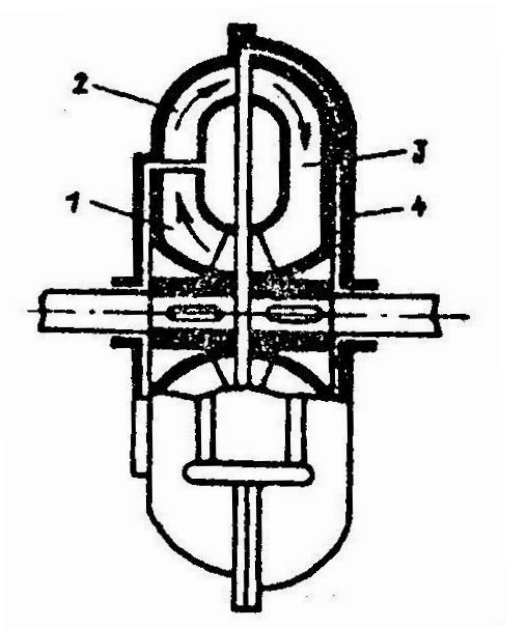


Рис. 2.3. Схема гидротрансформатора:
1 – насосное колесо;
2 – направляющий аппарат;
3 – турбинное колесо; 4 – корпус

Гидротрансформатор предназначен как для осуществления эластичного сцепления рабочих валов, так и для преобразования крутящего момента, передаваемого от ведущего вала к ведомому.

Для изменения крутящего момента в конструкцию гидротрансформатора, кроме насосного и турбинного колес, входит направляющий аппарат. Рабочая жидкость, подаваемая насосным колесом на турбинное колесо, возвращаясь обратно, проходит через направляющий аппарат, который изменяет направление и скорость потока рабочей жидкости, вследствие чего передаваемый крутящий момент может быть увеличен в несколько раз по сравнению с крутящим моментом двигателя. Расположением насосных и турбинных колес, направляющих аппаратов гидротрансформаторов обеспечивается возможность прямого и обратного хода.

Объемные гидроприводы классифицируются по источнику подачи рабочей жидкости, характеру движения выходного звена, возможности регулирования входного или выходного звена, возможно-

сти регулирования входного или выходного звена, по циркуляции рабочей среды и т. д.

По источнику подачи рабочей жидкости гидроприводы подразделяются на насосные, безнасосные, аккумуляторные, магистральные и с пиротехническим источником.

Насосный гидропривод – гидропривод, в котором рабочая жидкость подается в объемный гидродвигатель насосом, входящим в состав этого привода. В машинах технологического оборудования насосный гидропривод с объемными насосами получил преимущественное применение.

Безнасосный гидропривод – гидропривод, работающий по принципу сообщающихся сосудов и приводимый в действие механическим способом.

Аккумуляторный гидропривод – гидропривод, в котором рабочая жидкость подается в объемный гидродвигатель из гидроаккумулятора, предварительно заряженного от внешнего источника, не входящего в состав привода.

Магистральный гидропривод – гидропривод, в котором рабочая жидкость подается в объемный гидродвигатель от гидромагистрали, не входящей в состав привода.

Гидропривод с пиротехническим источником подачи рабочей жидкости – гидропривод однократного действия, в котором рабочая жидкость подается в объемный гидродвигатель за счет вытеснения ее из баллона продуктами сгорания, например, пороха.

По характеру движения выходного звена гидроприводы подразделяются на гидроприводы поступательного, вращательного и поворотного движения соответственно с поступательным, вращательным и поворотным движением выходного звена объемного гидродвигателя.

По циркуляции рабочей среды объемные гидроприводы разделяются на гидроприводы с замкнутым и разомкнутым контурами циркуляции рабочей жидкости.

Гидропривод с замкнутым контуром циркуляции – гидропривод, в котором рабочая жидкость от объемного гидродвигателя поступает непосредственно во всасывающую гидролинию насоса.

Гидропривод с разомкнутым контуром циркуляции – гидропривод, в котором рабочая жидкость от объемного гидродвигателя поступает в гидробак.

Схемы с разомкнутым контуром циркуляции рабочей жидкости (разомкнутой циркуляцией рабочей жидкости) и с замкнутым контуром циркуляции рабочей жидкости (замкнутой циркуляцией рабочей жидкости) приведены на рис. 2.4 а, б.

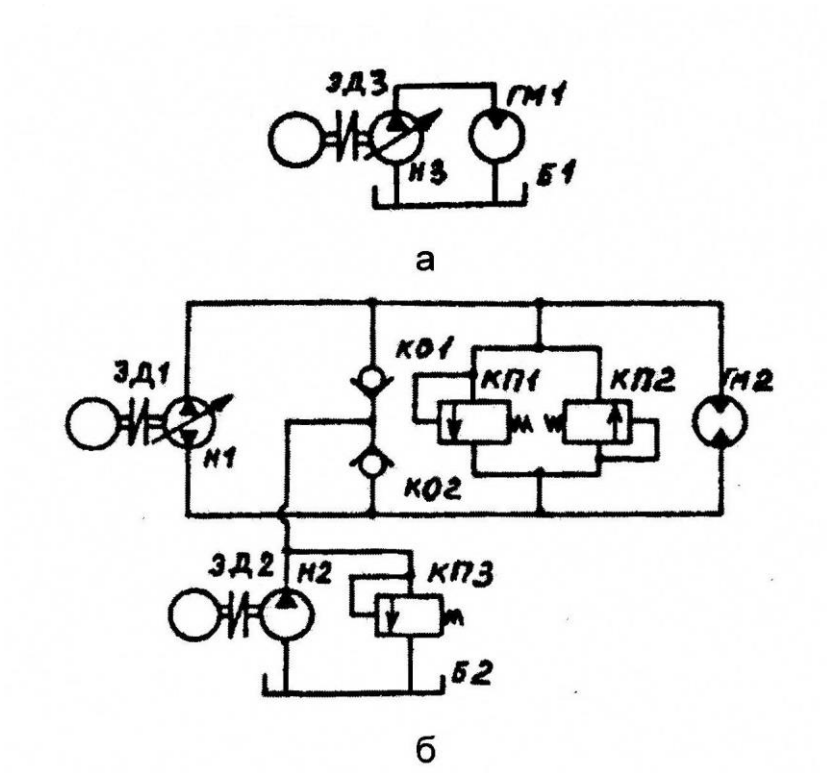


Рис. 2.4. Схемы разомкнутой (а) и замкнутой (б) циркуляции рабочей жидкости в гидроприводах:
Б1, Б2 – гидробаки; ГМ1, ГМ2 – гидромоторы;КО1, КО2 – обратные клапаны; КП1, КП2 – предохранительные клапаны;
КП3 – перепускной клапан; Н1, Н2, Н3 – насосы;
ЭД1, ЭД2, ЭД3 – приводные электродвигатели

При разомкнутой схеме циркуляции отработанная жидкость из гидромотора ГМ1 сливается в гидробак Б1, откуда по всасывающей

гидролинии вновь засасывается насосом Н3 и подается в напорную гидролинию. При замкнутой системе циркуляции отработанная жидкость из гидромотора ГМ2 поступает непосредственно в насос Н1. Утечки жидкости восполняются подкачивающим насосом Н2, подающим жидкость через обратные клапаны КО1, КО2, избыток жидкости (при повышении давления сверх установленного) сливается через предохранительные КП1 и КП2 и переливной КП3 клапаны по сливной гидролинии в гидробак Б2.

Преимущества замкнутой системы циркуляции рабочей жидкости:

- рабочую жидкость подают в насос Н1 под избыточным давлением, что исключает явление кавитации и позволяет насосу работать с большей частотой вращения;
- исключено попадание воздуха в гидросистему;
- рабочая жидкость изолирована от окружающей среды и поэтому меньше засоряется;
- направление потока в магистральной линии любое.

Из недостатков замкнутой системыциркуляции рабочей жидкости можно отметить следующее:

- условия охлаждения рабочей жидкости;
- сложную конструкцию фильтров для улавливания механических частиц при разных направлениях потока;
- сложность конструкции системы.

Разомкнутая система обладает следующими преимуществами:

- простота, отсутствие необходимости в дополнительном насосе;
- возможность одним насосом подавать рабочую жидкость нескольким потребителям;
- лучшее охлаждение рабочей жидкости ввиду более длинного пути ее движения и большого объема в гидросистеме.

Недостатки разомкнутой системы:

- большие габаритные размеры установки;

- давление при всасывании обычно меньше атмосферного, что ограничивает применение быстроходных насосов из-за возможной кавитации;
- вакуум во всасывающей линии является причиной проникновения воздуха в гидросистему, что ухудшает работу гидропривода: возникает вибрация, уменьшается подача насоса, интенсивно окисляется рабочая жидкость.

Рассмотренные системы циркуляции нередко используют в комбинации: часть отработанной жидкости в гидродвигателе сливается в резервуар, а другая часть вместе с жидкостью, подаваемой подпиточным насосом, поступает в основной насос.

Регулируемым гидроприводом называется объемный гидропривод, в котором скорость выходного звена объемного гидродвигателя может регулироваться по требуемому закону или по желанию оператора машины. (В нерегулируемых гидроприводах скорость перемещения рабочего органа всегда остается неизменной).

Регулирование перемещения рабочих органов может быть ***ступенчатым*** и ***бесступенчатым***. Ступенчатое регулирование осуществляется посредством ступенчатого изменения подачи или расхода рабочей жидкости в ведущем или ведомом звене. Например, если ведущее звено гидропередачи состоит из ряда насосов, а ведомое – из ряда гидродвигателей, то включением одного, двух или нескольких насосов создается различная ступенчатая подача рабочей жидкости, а включением одного, двух или нескольких гидродвигателей создаются различные ступенчатые расходы на включенные гидродвигатели. Изменяя количество подключенных насосов с одинаковыми или различными подачами, а также включая или выключая различное количество гидродвигателей, можно плавно переходить от одной скорости перемещения ведомого звена к другой.

Бесступенчатое регулирование скорости движения ведомого звена осуществляется посредством регулируемого насоса или гидродвигателя, а также путем дроссельного регулирования.

По регулируемому устройству изменение скорости движения выходного звена гидропривода можно осуществить различными регулирующими устройствами. При наличии в гидроприводе регулируемых насоса или гидромотора можно осуществить бесступенчатое ***объемное регулирование***.

При отсутствии в гидроприводе регулируемых насосов или гидромоторов бесступенчатое регулирование скоростей движения выходного звена можно осуществить ***дроссельным регулированием*** путем перепускания части рабочей жидкости, подаваемой насосом под давлением, через предохранительный гидроклапан.

Бесступенчатое (в ограниченных пределах) регулирование скорости движения выходного звена при нерегулируемом насосе можно осуществить также, изменяя частоту вращения двигателя, приводящего в действие насос. В этом случае при неизменном рабочем объеме насоса осуществляется изменение подачи насоса.

Объемный способ регулирования обычно применяется в гидроприводах с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости и осуществляется изменением рабочего объема насоса (рис. 2.5, а, б), или изменением рабочего объема гидромотора (рис. 2.5, в), или изменением рабочих объемов насоса и гидромотора (рис. 2.5, г).

При объемном способе регулирования максимально используется приводная мощность двигателя, которая выбирается исходя из максимальной мощности, развиваемой насосом, с учетом общего КПД гидропривода.

Мощность, развиваемая насосом, без учета его КПД, вычисляется по формуле*

$$N_1 = p_1 Q_1 = p_1 n_1 q_1 = N. \qquad (2.1)$$

Соответственно мощность, потребляемая гидромотором, без учета его КПД, равна*

$$N_2 = p_2 Q_2 = p_2 n_2 q_2 = N, \qquad (2.2)$$

* Здесь и в дальнейшем индексом 1 обозначаются параметры насоса, индексом 2 – гидромотора.

где N – мощность приводного двигателя, p – давление в системе, Q – расход жидкости[**], n – частота вращения, q – рабочий объем.

В гидроприводах с регулируемым насосом и нерегулируемым гидромотором (рис. 2.5, б) изменение расхода жидкости достигается изменением рабочего объема насоса.

При желании использовать максимальную мощность приводного двигателя N необходимо для того, чтобы при изменении Q_1 давление p_1 изменялось бы с таким расчетом, чтобы произведение p_1Q_1 оставалось постоянным.

При изменении рабочего объема q_1 (q_2 – неизменный) частота вращения вала гидромотора определяется по формуле

$$n_2 = \frac{q_1}{q_2} n_1. \qquad (2.3)$$

Момент на валу гидромотора может быть подсчитан следующим образом:

$$M_2 = \left(\frac{1}{2}\pi\right) p_2 q_2 \qquad (2.4)$$

или, используя формулу (2.2), выражение (2.4) можно записать

$$M_2 = \frac{N}{2\pi\, n_2}. \qquad (2.5)$$

В гидроприводе с замкнутой циркуляцией и с регулируемым при постоянной мощности насосом и нерегулируемым гидромотором (рис. 2.5, б) при определении диапазона регулирования гидропривода следует исходить из номинального значения полного КПД насоса; при возрастании рабочего объема насоса для расширения диапазона регулирования необходимо увеличить его габариты.

В гидроприводе с замкнутой циркуляцией с нерегулируемым насосом и регулируемым гидромотором (см. рис. 2.5, в) регулирова-

---

[**]Величину Q применительно к насосу называют ***подачей***, применительно к гидромотору – ***расходом***.

ние при постоянной мощности производится изменением рабочего объема q_2 гидромотора. Однако существует минимальное значение q_2, при котором гидромотор не может преодолеть внутренних сопротивлений, возникающих в нем, и останавливается.

Преимущества этого способа регулирования:

- экономичность гидропривода;
- габариты не зависят от диапазона регулирования.

К недостаткам можно отнести необходимость дистанционного управления гидромотором при раздельном размещении насоса и гидромотора (так как в этом случае гидромотор обычно находится на значительном расстоянии от оператора) и невозможность получения малых скоростей при страгивании машины.

При применении в гидроприводе с замкнутой циркуляцией регулируемых насоса и гидромотора (см. рис. 2.5, г) увеличивается диапазон регулирования гидропривода, который в этом случае равен произведению диапазона регулирования насоса и гидромотора. Применяется совместно с регулятором постоянной мощности на тягачах и транспортных машинах.

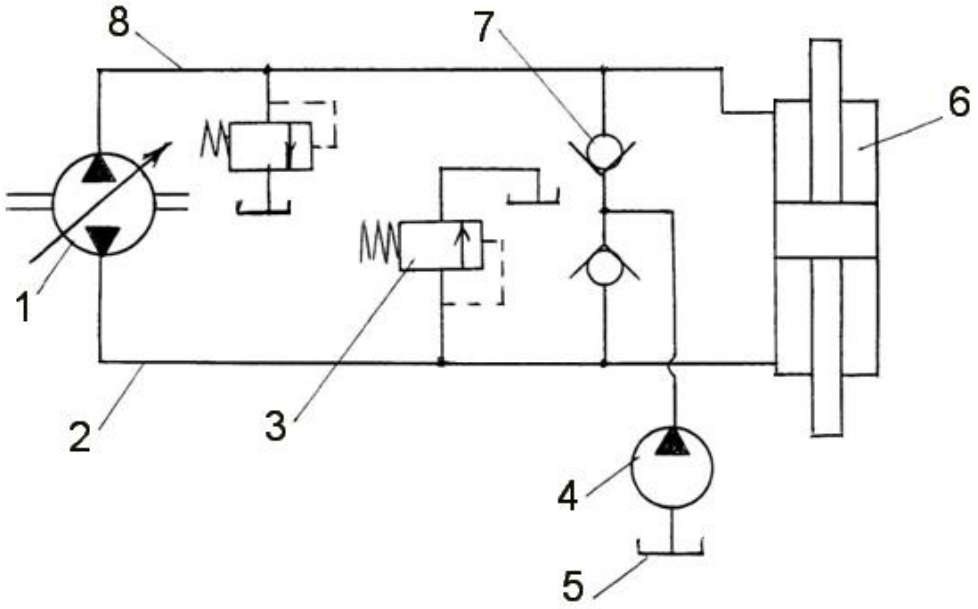
Запуск и работу гидропривода при такой системе регулирования следует осуществлять следующим образом:

- запустить приводной двигатель при нулевой подаче насоса и максимальном расходе гидромотора;
- постепенно увеличивать рабочий объем насоса до начала страгивания гидромотора;
- после выхода насоса в зону постоянной мощности следует регулировать подачу насоса в зоне малых потерь, т. е. в зоне высоких значений КПД;
- при необходимости увеличения частоты вращения гидромотора уменьшить его рабочий объем.

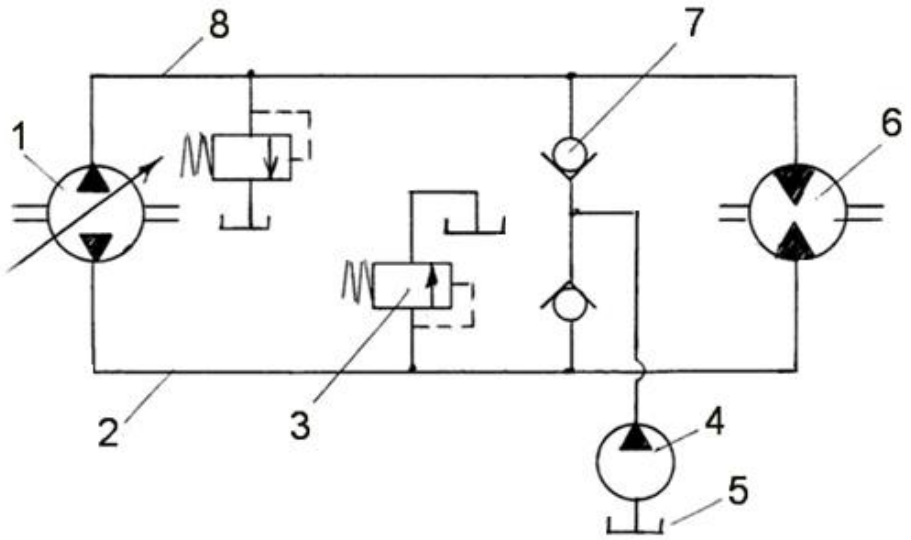
При дроссельном регулировании в зависимости от заданных условий дроссель может быть установлен:

- на входе (рис. 2.6, а) – дроссель установлен перед гидродвигателем на напорной гидролинии;

- на выходе (рис. 2.6, б) – дроссель установлен на сливной гидролинии, после гидродвигателя;
- на ответвлении (рис. 2.6, в) – дроссель расположен на напорной гидролинии параллельно гидродвигателю.

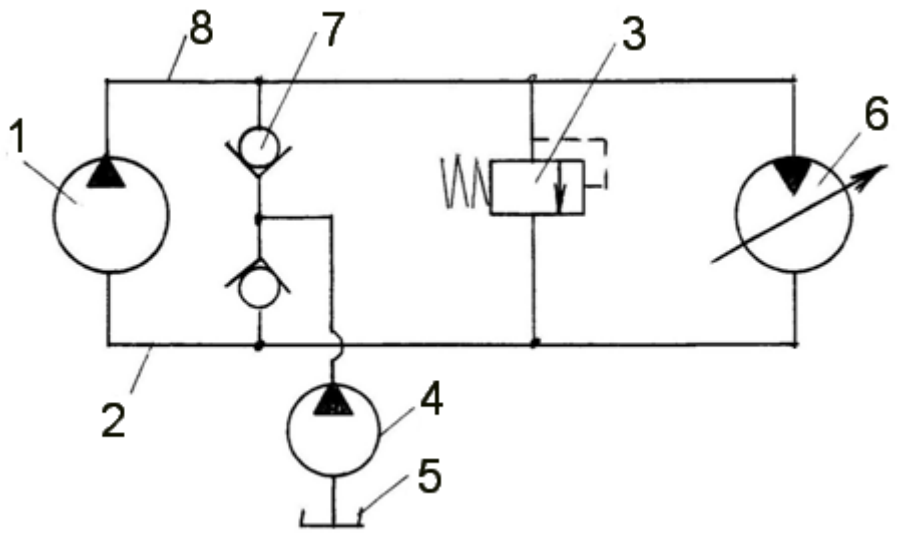


а

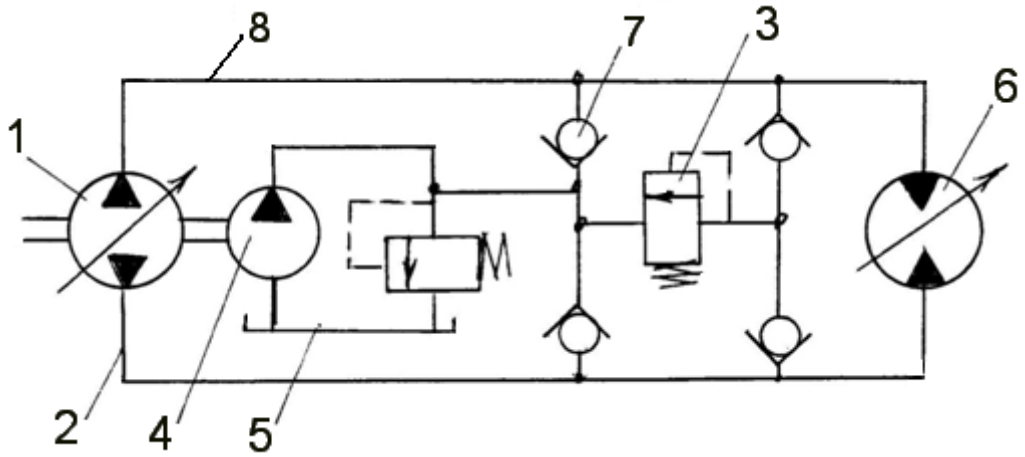


б

Рис. 2.5. Гидравлические системы:
а – с регулируемым насосом и гидроцилиндром;
б – с регулируемым насосом и нерегулируемым гидромотором;
1 – насос основной; 2, 8 – напорная или сливная гидролиния;
3 – предохранительный гидроклапан; 4 – насос подпитки;
5 – гидробак; 6 – гидродвигатель; 7 – обратный гидроклапан



в



г

Рис. 2.5. Гидравлические системы:
в – с нерегулируемым насосом и регулируемым гидромотором;
г – с регулируемыми насосом и гидромотором;
1 – насос основной; 2, 8 – напорная или сливная гидролиния;
3 – предохранительный гидроклапан; 4 – насос подпитки;
5 – гидробак; 6 – гидродвигатель; 7 – обратный гидроклапан

При всех способах дроссельного регулирования часть жидкости, подаваемая насосом, отводится в сливную гидролинию, не совершая полезной работы.

Гидроприводы с дроссельным регулированием выполняются по двум схемам: ***с постоянным расходом рабочей жидкости*** и ***с постоянным давлением***.

В строительных машинах с нерегулируемыми насосами применяется преимущественно схема с постоянным расходом, а расход жидкости в системе при постоянной частоте вращения насоса остается постоянным независимо от нагрузки гидродвигателя; давление в системе зависит от внешней нагрузки.

Схема с постоянным давлением применяется в системах с автоматическим регулированием. Использование такой схемы дает возможность одновременной работы нескольких гидродвигателей от одного насоса независимо от внешней нагрузки каждого из гидродвигателей. При работе гидропривода с регулируемым насосом схема не требует дополнительных устройств, а при работе с нерегулируемым насосом в систему устанавливается переливной гидроклапан, который непрерывно перепуская часть рабочей жидкости во время работы, поддерживает заданное давление.

Рассмотрим подробнее каждый из способов включения дросселя в схемах с постоянным расходом.

Гидропривод с дросселем на входе. Гидропривод допускает регулирование скорости перемешения штока гидроцилиндра лишь в том случае, когда направление действий внешней силы (нагрузка на шток гидроцилиндра) не совпадает с направлением движения штока. Если же направление действия нагрузки совпадает с направлением движения потока, то при уменьшении подачи жидкости через дроссель поршень перемещается быстрее и жидкость не успевает заполнить поршневое пространство. Произойдет разрыв потока в гидролинии перед поршнем, что недопустимо.

Эта схема (рис. 2.6, а) не обеспечивает постоянства скорости выходного звена, если нагрузка на нем переменная, и ее нельзя применять в грузоподъемных машинах, так как груз может упасть вследствие недостаточного противодействия силы трения поршня о гидроцилиндр и сопротивления сливной гидролинии.

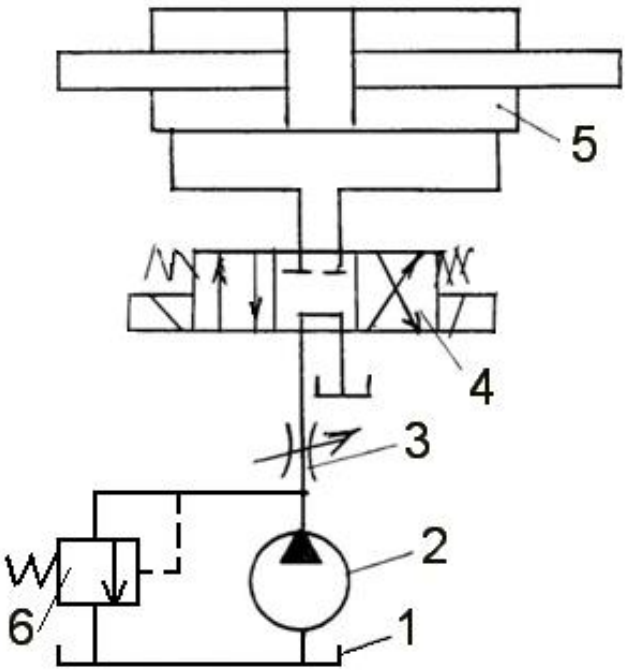
Гидропривод с дросселем на выходе.При применении этой схемы (рис. 2.6, б) разрыва струи и падения груза не произойдет при любом направлении движения штока под действием внешней нагрузки. Преимуществом схемы является также то, что тепло, выделяющееся при прохождении жидкости через дроссель, отводится непосредственно в гидробак, минуя гидрораспределитель и гидроцилиндр.

Гидропривод с дросселем на ответвлении.В этом случае (рис. 2.6, в) рабочая жидкость, подаваемая насосом, не доходя до гидрораспределителя, разделяется на два потока, один из которых через гидрораспределитель направляется в гидродвигатель, а второй через дроссель отводится в гидробак. Предохранительный гидроклапан перепускает жидкость только в случае превышения нагрузки. Поэтому в энергетическом отношении гидропривод с дросселем на ответвлении экономичнее, чем системы с «дросселем на входе» или «с дросселем на выходе».

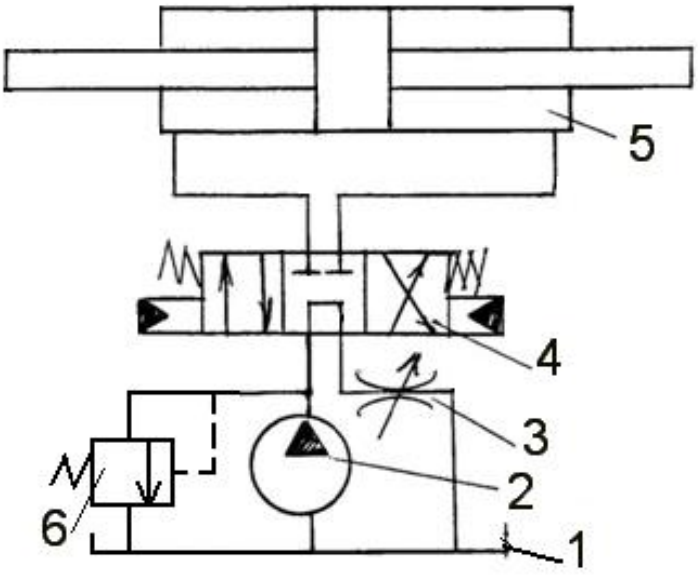
Скорость движения поршня можно регулировать изменением проходного сечения дросселя. При полностью открытом дросселе вся рабочая жидкость подается в гидродвигатель; в этом случае осуществляется максимальная скорость движения поршня (рис. 2.6, а, б) гидроцилиндра или максимальная частота вращения вала гидромотора. При полностью закрытом дросселе движение гидродвигателя прекращается.

КПД гидропривода с дроссельным регулированием в общем случае мал. Он вычисляется как отношение расхода жидкости через гидродвигатель к подаче насоса. Вследствие малого значения КПД дроссельное регулирование применяется в строительных машинах для гидроприводов небольшой мощности.

Кроме регулирования потоков рабочей жидкости, подводимой к ведомому звену, в гидрофицированных машинах необходимо осуществлять реверсирование движения этого звена. В гидроприводах с выходным звеном – гидромотором – это будет вращение вала гидромотора по часовой стрелке или против, а в гидроприводах с выходным звеном – гидроцилиндром – возвратно поступательное движение его штока.

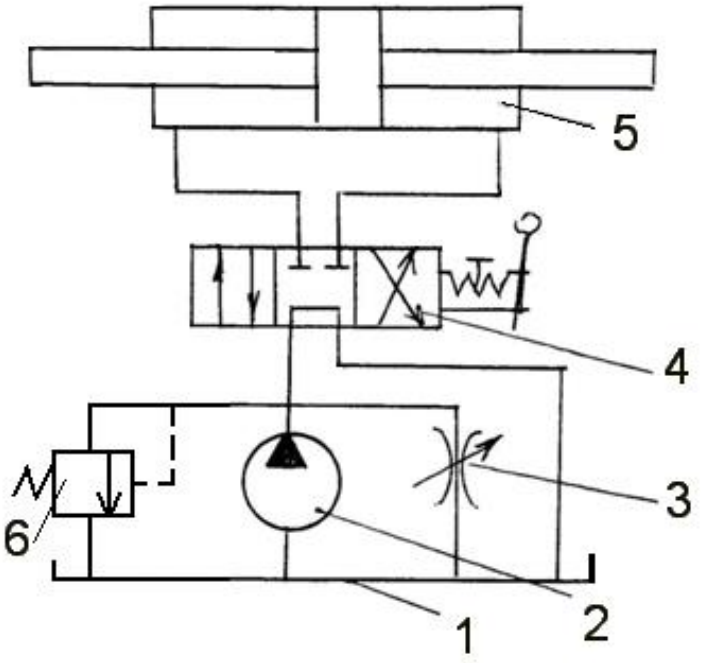


а



б

Рис. 2.6. Способы включения дросселя в гидропривод:
а – «с дросселем на входе»; б – «с дросселем на выходе»;
1 – гидробак; 2 – насос; 3 – дроссель; 4 – гидрораспределитель;
5 – гидродвигатель; 6 – предохранительный клапан



в

Рис. 2.6. Способы включения дросселя в гидропривод:
в – с дросселем на ответвлении;
1 – гидробак; 2 – насос; 3 – дроссель; 4 – гидрораспределитель;
5 – гидродвигатель; 6 – предохранительный клапан

В гидроприводах с регулируемым и реверсируемым насосом реверсирование осуществляется отклонением вращающегося ротора или наклонной шайбы в одну или другую сторону от их нейтрального положения. В гидроприводах с нерегулируемым и нереверсируемым насосом реверсирование осуществляется гидрораспределителями.

Регулирование возможно и смешанным объемно-дроссельным способом, который применяется главным образом в гидроприводах со ступенчатым регулированием.

По задаче регулирования регулируемый объемный гидропривод разделяется на стабилизированный, программный и следящий.

Стабилизированным гидроприводом называется регулируемый гидропривод, в котором скорость движения выходного звена поддерживается постоянной.

Программным гидроприводом называется регулируемый гидропривод, в котором скорость движения выходного звена изменяется по заранее заданной программе.

Следящимгидроприводомназывается регулируемый гидропривод, в котором скорость движения выходного звена изменяется по определенному закону в зависимости от задающего воздействия, величина которого заранее неизвестна.

По способу регулирования регулируемый объемный гидропривод разделяется на гидропривод с ***ручным, автоматическим и полуавтоматическим регулированием***.

Регулирование скорости выходного звена в гидроприводе с ручным регулированием осуществляется оператором непосредственно или с помощью дополнительных устройств, снижающих усилие на рукоятке управления (сервоуправления). В гидроприводе с автоматическим регулированием этот процесс осуществляется автоматически по определенному закону. Полуавтоматический способ включает элементы ручного и автоматического способов регулирования.

Если объемный гидропривод необходимо охарактеризовать и по типу приводящего двигателя, то к наименованию «гидропривод» дается пояснение, указывающее на тип приводящего двигателя.

Структурная схема гидропривода с электромотором состоит из электродвигателя, объемной гидропередачи (объемных насоса и гидродвигателя, гидросети) и гидроаппаратуры (регулирующей, направляющей и дополнительной).

2.2. Требования, предъявляемые к объемному гидроприводу и его преимущества

Объемные гидравлические приводы должны обеспечивать нормальное функционирование и надежную работу гидрофицированных агрегатов технологического оборудования.

В гидравлическом приводе должны поддерживаться заданное рабочее давление и температура рабочей жидкости в требуемом диапазоне, а также обеспечиваться требуемая по техническим условиям чистота рабочей жидкости, пожарная безопасность, внутренняя и внешняя герметичность, надежность работы элементов, удобство технического обслуживания, высокая эксплуатационная технологичность, простота и надежность испытаний и конструкций.

Основными преимуществами объемного гидравлического привода являются его высокие динамические качества, простота осуществления бесступенчатого регулирования выходной скорости, а также весовые характеристики (отношение веса машины к ее мощности) и строительный объем, приходящийся на единицу передаваемой мощности (энергоемкости).

Динамические качества гидромотора оцениваются способностью сообщать инерционной (массовой) нагрузке большое ускорение и определяются отношением момента, развиваемого гидромотором, к моменту инерции его вращающихся частей. По величине этого отношения аксиально-поршневые гидромоторы более чем на порядок превосходят электродвигатели той же мощности, что во многих случаях является решающим фактором для характеристики гидросистемы, и в частности, для следящих гидросистем.

Преимущества гидродвигателей по этому показателю перед электродвигателями обусловлены тем, что удельная сила их практически не ограничена, а при давлении жидкости примерно 30 МПа (300 кгс/см^2) в 20…25 раз больше удельной силы электродвигателя.

Благодаря возможности получения в заданном ограниченном пространстве больших крутящих моментов и усилий обеспечивается высокая приемистость и быстродействие гидропривода и, соответственно, малое время запаздывания при отработке командных сигналов, что особенно важно для быстродействующих следящих механизмов.

Под приемистостью гидродвигателя в общем случае понимают его способность развивать скорость при инерционной нагрузке в те-

чение малого времени. Практически реверс гидродвигателя без маховых масс происходит мгновенно, и запаздывание (если оно есть) обусловлено лишь сжимаемостью рабочей жидкости и составляет обычно всего несколько миллисекунд. Так, время разгона гидромотора средней мощности 5…75 кВт не более 0,1 с для некоторых моторов – не более 0,03…0,04 с.

Для качественной оценки гидродвигателей по этому параметру можно указать, например, момент инерции ротора пластинчатого гидромотора ($N = 2{,}5$ кВт при $n = 1000$ об/мин и $p = 6{,}5$ МПа) $2 \cdot 10^{-6}$ Н/с^2 ($2 \cdot 10^{-5}$ кгс/с^2).

Высокой приемистостью отличаются также и насосы. Например, в лучших образцах насосов время достижения регулируемым насосом максимальной подачи от нулевого ее значения не более 0,04 с, а время снижения подачи от номинального значения до нулевого – не более 0,02 с. В тяжелом машиностроении применяют регулируемые насосы мощностью 2000 кВт, производящие до 60 реверсов в минуту.

При оценке гидромашины большое значение имеют также весовые характеристики, которыми являются:

- удельный вес (или коэффициент удельного веса) гидромашины, под которым понимают вес, приходящийся на единицу полезной мощности (обычно выражается в кг/кВт или кгс/кВт),

$$C_N = \frac{G}{N}; \qquad (2.6)$$

- вес на единицу развиваемого момента [в Н/(Н·м) или кгс/(кгс·м)]

$$C_\text{М} = \frac{G}{M}, \qquad (2.7)$$

где G, N, M – соответственно вес, мощность гидромашины и крутящий момент на ее валу.

Для гидромашин общего применения высокого давления (>20 МПа или >200 кгс/см^2) удельный вес обычно составляет 6 Н/кВт

(0,6 кгс/кВт); для специальных насосов и гидромоторов, работающих при высоких скоростях (2500…4000 об/мин) – 3 Н/кВт (0,3 кгс/кВт).

Кроме того, для многих случаев применения, в частности, в транспортных машинах, ракетах, для которых объемный фактор имеет чрезвычайно большое значение, гидромашины оцениваются также по удельной мощности (мощности, отнесенной к единице объема), или, как называют этот показатель, энергоемкости. Высокооборотные аксиально-поршневые гидромашины, пригодные для работы при давлениях 70 МПа (700 кгс/см^2) и выше, имеют наиболее высокую энергоемкость – 6,7 кВт/дм^3 и выше. Преимуществом гидравлических приводов является также возможность бесступенчатого регулирования в широком диапазоне выходной скорости, а также простота управления, плавность, равномерность и устойчивость движения под изменяющейся нагрузкой и высокая надежность гидроэлементов. Срок службы при работе под нагрузкой насосов и моторов достигает 20000 ч и более. Гидропривод может работать в любых климатических условиях. Высококачественные моторы и насосы имеют на номинальном режиме работы высокий КПД: объемный $\eta_{\text{о}} = 0{,}98...0{,}99$, механический $\eta_{\text{мех}} = 0{,}96...0{,}98$ и полный $\eta = 0{,}95...0{,}96$. Диапазон регулирования гидропривода вращательного действия или передаточное число, под которым понимается отношение минимальной частоты вращения вала гидромотора к максимальной, составляет во многих случаях 1:1000. Нижний предел частоты вращения большинства двигателей составляет 8…16 об/мин у двигателей с малым крутящим моментом (3…20 Н·м) и 2…3 об/мин у двигателей с большим крутящим моментом (более 100 Н·м).

При применении гидропривода конструктивно просто решается задача защиты машины от перегрузок. Благодаря тому, что передача энергии производится по трубопроводам, гидросистемы обладают хорошими коммутационными качествами.

Высокие модуль упругости рабочей жидкости и герметичность гидроагрегатов обеспечивают гидросистеме механическую жест-

кость по отношению к нагрузке (минимальную податливость выхода под нагрузкой), а также допускают неограниченную по времени работу при минимальных скоростях, сохраняя при этом постоянство заданных характеристик зависимости скорости от нагрузки. Кроме того, гидросистема обеспечивает высокую позиционную точность реверсирования. Так, у силового органа ряда машин точность реверсирования при применении гидропривода может быть доведена до 0,01 мм.

К недостаткам гидропривода относятся:

- зависимость характеристики гидропривода от вязкости рабочей жидкости, которая зависит от температуры;
- нарушение работы в автоматических гидравлических системах из-за нестабильности вязкости рабочей жидкости;
- растворимость воздуха в жидкости, который также нарушает работу гидропривода и особенно автоматических устройств;
- внутренние и наружные утечки рабочей жидкости, которые снижают КПД системы. В настоящее время уже разработаны рабочие жидкости с высоким индексом вязкости и уплотнения, гарантирующие их длительную работу без утечек.

2.3. Основные параметры, принцип действия и расчетные зависимости роторно-зубчатых, роторно-поршневых, роторно-пластинчатых гидромашин

В качестве источников гидравлической энергии в объемном гидравлическом приводе применяются: насосы, гидроаккумуляторы и пиротехнические источники давления.

Насос – это гидравлическая машина для создания потока жидкой среды.

Гидроаккумулятор – это устройство, служащее для накопления рабочей жидкости под давлением для последующего использования ее потенциальной энергии.