

## **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОПРИВОДЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИНАХ**

### **Вводные понятия.**

Под *приводом* понимают устройство или совокупность устройств, предназначенных для приведения в действие рабочих органов машин или механизмов. Привод в общем случае состоит из источника энергии, механизма для передачи и преобразования энергии (движения) и аппаратуры управления.

По виду энергии различают механические, электрические, пневматические и гидравлические приводы.

В механических приводах энергия передается и преобразуется с помощью шарнирных (рычажных), зубчатых, винтовых и других механизмов.

В электрических приводах, электрическая энергия преобразуется в механическую с помощью электродвигателей.

В пневматических приводах, механическая энергия рабочего тела – сжатого вещества в газообразном состоянии – преобразуется в механическую энергию твердого тела – выходного звена пневмодвигателя.

Гидравлическим приводом, или гидроприводом, называют устройство для приведения в движение механизма (машины), преобразующее и передающее механическую энергию посредством рабочей жидкости и составленное из приводного двигателя, насоса, гидродвигателя, устройств управления, дополнительных и вспомогательных устройств.

Т.о. гидроприводом осуществляется передача энергии с двойным её преобразованием: сначала механическая энергия приводящего двигателя преобразуется насосом в механическую энергию потока рабочей жидкости, а затем в гидродвигателе механическая энергия потока рабочей жидкости преобразуется в механическую на его выходном звене.

В зависимости от вида составляющих механической энергии потока рабочей жидкости различают гидродинамические передачи и объемные гидроприводы.

В гидродинамической передаче используется кинетический вид механической энергии потока рабочей жидкости в виде скоростного напора.

В объемном гидроприводе механическая энергия передается потоком рабочей жидкости в виде напора гидростатического давления при относительно малой величине кинетической энергии потока и геометрического напора.

Объемные гидроприводы и гидродинамические передачи различны по конструкции и областям применения и рассматриваются отдельно.

### **Функциональная схема гидропривода.**

Гидропривод (рис. 5.1) включает в себя:

- приводящий двигатель (насос и гидродвигатель);
- устройства управления;
- соединяющие их гидролинии, а иногда и нагрузка.

Кроме того, гидропривод может содержать другие функционально необходимые устройства, как например электротехнические изделия.

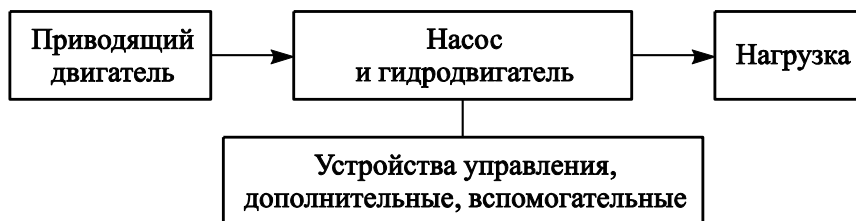


Рис. 5.1. Функциональная схема гидропривода

Устройства управления предназначены для изменения направления движения и параметров на выходном звене гидродвигателя.

Гидролинии, по которым проходят потоки рабочей жидкости, соединяют насос и гидродвигатель.

Гидроустройства предназначены для изменения направления и параметров потока рабочей жидкости (гидроклапаны, гидродроссели, гидрораспределители).

Есть ещё *кондиционеры* рабочей жидкости (фильтры, отделители влаги и воздуха, сапуны, холодильники, нагреватели), *гидроёмкости* (баки, аккумуляторы).

Рабочая жидкость, применяемая в гидроприводе, является рабочей средой, с помощью которой механическая энергия передается от насоса к гидродвигателю.

**Область применения гидропривода определяется его преимуществами и недостатками.**

1) **Основные преимущества гидроприводов** – малые габариты и масса на единицу передаваемой мощности, иными словами, высокая удельная мощность, т. е. возможность развивать высокие значения сил, крутящих моментов, скорости при относительно малом объеме (на единицу объема); небольших массе и инерционности гидродвигателей.

Эти преимущества обуславливают широкое распространение гидроприводов несмотря на незначительно меньший общий КПД по сравнению с механическими передачами.

2) **Основные недостатки гидроприводов:** зависимость их характеристик от температуры рабочей жидкости; высокие требования к технологии изготовления; необходимость обеспечения высокой степени герметичности соединений для предотвращения утечек рабочей жидкости из гидросистемы и привода; пожароопасность при использовании горючей рабочей жидкости.

### **Гидравлические машины**

**Общие сведения о гидравлических машинах.** *Гидравлической машиной*, называют устройство, элементы которого совершают движение для преобразования механической энергии твердого тела в механическую энергию потока рабочей жидкости (насос) или, наоборот, механической энергии потока рабочей жидкости – в механическую энергию твердого тела и передачи ее рабочему органу машины (гидродвигатель).

В гидромашине происходит преобразование энергии, и силы, возникающие на рабочих органах гидромашин, являются результатом действия распределенных в жидкости сил. *Из гидромеханики известно*, что в общем случае результирующая сила, которая действует со стороны потока жидкости на ограничивающие его стенки, представляет собой сумму **гидродинамической и гидростатической составляющих**. Физическую причину возникновения сил на рабочих органах можно использовать как определяющий признак для классификации гидромашин по принципу действия (рис. 5.2).

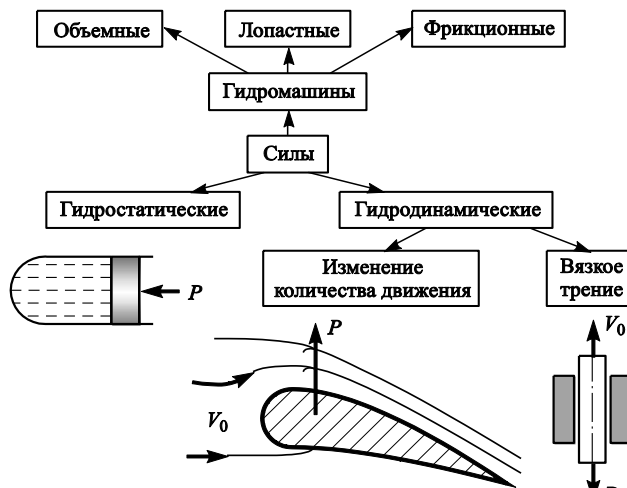


Рис. 5.2. Классификация гидромашин по принципу действия

Гидродинамические силы возникают на рабочих органах гидромашин в результате обтекания их жидкостью (например, лопасти вращающегося рабочего колеса ГМ – отсюда название – **лопастные** или **динамические**, в которых преобразование механической энергии происходит в результате динамического взаимодействия потока рабочей жидкости с элементами машины.

В свою очередь, причиной возникновения гидродинамической составляющей силы является либо **изменение количества движения**, либо **действие сил вязкого трения**. Силы вязкого трения присутствуют при движении любой жидкости и обуславливают диссипацию ее механической энергии. Однако в первом случае силы вязкого трения играют второстепенную роль, а во втором случае они являются определяющими.

Чтобы на рабочем органе ГМ возникли силы от действия гидростатического давления, необходимо создать на поверхностях рабочего органа перепад давления. Подобный принцип образования силы обуславливает существование в ГМ некоторых замкнутых, герметично разделенных полостей. Причем в процессе преобразования механической энергии твердого тела и механической энергии потока жидкости при перемещении рабочих органов эти пространства изменяют свой объем. Такой принцип работы осуществлен в **объемных гидромашинах**.

При движении твердого тела относительно вязкой жидкости между ними возникает силовое взаимодействие. Оно обусловлено касательными напряжениями, которые возникают как между отдельными слоями жидкости, так и на поверхности твердого тела. В результате на твердом теле, которое в данном случае является рабочим органом гидромашин, возникает сила трения  $T$ . Такой принцип работы положен в основу **фрикционной гидромашин**, типичным представителем которой служит дисковый насос трения.

**Можно отметить следующие особенности гидромашин.**

1) Входная и выходная полости **лопастных гидромашин** постоянно сообщены между собой, и только в работающей машине из-за силового взаимодействия рабочих органов с жидкостью происходит их разделение.

2) У **объемных гидромашин** полости всегда герметично разделены, и рабочая жидкость перемещается под действием сил в камере, попеременно сообщаемой с входом и выходом (насос), или рабочая жидкость передает силовое воздействие на рабочий орган машины.

3) Как следствие, лопастные гидромашины используют для перемещения бóльших объемов жидкости при меньшем напоре, а объемные, наоборот, для перемещения меньших объемов жидкости, но при бóльшем напоре (давлении).

4) Принципиально, расход и напор объемных гидромашин – независимые между собой величины (жесткая характеристика), а лопастных – взаимосвязанные.

5) Объемные гидромашины по сравнению с лопастными имеют лучшие энергетические показатели при работе на вязких жидкостях (более 1...3 Ст).

6) Лопастную гидромашину называют проточной, поскольку ее внутренняя полость всегда сообщается как с входной, так и с выходной полостями, а объемную – герметичной, так как ее герметичная рабочая камера может быть подключена либо только к входной полости, либо только к выходной.

### Основные параметры и рабочие характеристики ГМ.

Величины, которые характеризуют количество преобразуемой энергии, относятся к основным показателям качества работы гидромашин.

Механическая энергия на выходном звене гидромашин в единицу времени – **мощность (Вт)**, определяется

$$\text{при поступательном движении} \quad N_V = RV;$$

$$\text{при вращательном движении} \quad N_\omega = M\omega,$$

где **R** - сила (Н);  
**M** - момент (Н·м);  
**V** и **ω** – линейная (м/с), и угловая (с<sup>-1</sup>), скорости его движения.

Механическая энергия потока рабочей жидкости в единицу времени – **мощность (Вт)**:

$$N = \rho g Q H,$$

где **Q** – объемный расход (м<sup>3</sup>/с);  
**ρ** – плотность (кг/м<sup>3</sup>);  
**H** – напор (м).

Удельная энергия потока рабочей жидкости, отнесенная к единице силы тяжести, – **напор (м)**:

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \alpha \frac{V^2}{2g},$$

где **z** – геометрический напор;  
**p/(ρg)** – пьезометрический напор;  
**p** – давление в центре рассматриваемого сечения;  
**αV<sup>2</sup>/(2g)** – скоростной напор;  
**V** – средняя скорость жидкости в рассматриваемом сечении;  
**α** – безразмерный коэффициент, учитывающий неравномерное распределение скоростей по сечению потока.

Характеристикой гидромашин называют функциональную зависимость между её определенными параметрами при неизменных других параметрах, определяющих её состояние. Характеристики гидромашин задают аналитически, в виде таблиц и чаще – диаграмм. Функциональные зависимости и параметры гидромашин (за исключением рабочего объема и давления) приводят с указанием температуры рабочей жид-

кости, кинематической вязкости, давления в некоторых местах схемы (на входе в насос – давление всасывания, давление на выходе из гидродвигателя и т. п.).

Коэффициент полезного действия гидромашины позволяет оценить потери потребляемой мощности. Различают три основных вида потерь энергии.

Гидравлические потери – потери напора при движении жидкости в каналах гидромашины, их оценивают с помощью гидравлического КПД.

Особенность объемных машин заключается в наличии множества зазоров с неподвижными и подвижными стенками, в которых происходят основные потери энергии. В связи с этим потери на утечки рабочей жидкости из циркулирующего объема и перетечки рабочей жидкости через зазоры внутри гидромашины из области высокого давления в область низкого давления, не участвующие в рабочем процессе, называют объемными потерями и оценивают с помощью объемного КПД.

Механические потери – потери на механическое трение в подшипниках, сопряженных деталях и уплотнениях гидромашины, их оценивают с помощью механического КПД.

Насос. Гидромашину для напорного перемещения в основном капельной жидкости, в которой подводимая извне механическая энергия преобразуется в механическую энергию потока жидкости, называют насосом. При прохождении жидкости через насос механическая энергия потока рабочей жидкости увеличивается. Насосы являются одной из самых распространенных разновидностей машин. Их применяют для различных целей – от удовлетворения жизненных потребностей населения, использования в промышленности и всевозможных разновидностей машин и агрегатов и вплоть до эксплуатации в космических аппаратах.

Динамический насос – насос, в котором РЖ перемещается под силовым воздействием на нее стенок камеры, постоянно сообщающейся с входом и выходом насоса, т. е. в этом устройстве механическая энергия потока рабочей жидкости на выходе определяется кинетической составляющей механической энергии потока рабочей жидкости.

Объемный насос – насос, в котором РЖ перемещается под действием внешних сил (столб жидкости, атмосферное давление, давление подпора) в результате периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщающейся с входом и выходом насоса. Иными словами, жидкая среда заполняет камеры при снижении давления в этой камере во время увеличения ее объема только под действием внешних сил со стороны входа в насос. Ошибочно мнение, что насос самостоятельно забирает жидкую среду. При уменьшении объема камеры происходит вытеснение (нагнетание) рабочей жидкости из камеры в линию нагнетания.

Работа насоса характеризуется:

- подачей,
- напором или давлением,
- частотой вращения вала,
- потребляемой и полезной мощностями,
- КПД.

Подачей насоса  $Q$  называется объем рабочей жидкости, перемещаемый насосом за единицу времени. Подача объемного насоса постоянна, не зависит от развиваемого напора (давления нагнетания) и может

быть изменена в результате изменения частоты вращения вала и геометрических параметров, определяющих рабочий объем насоса.

Полезный напор насоса  $H_n$  (давление  $p_n$ ) – это энергия, сообщаемая насосом единице веса перемещаемой (перекачиваемой) рабочей жидкости, выражается разностью напоров на выходе и входе (давлений в линиях нагнетания и всасывания) насоса:

$$\begin{aligned} H_n = H_{\text{вых}} - H_{\text{вх}} &= \left( z_n + \frac{p_{\text{нг}}}{\rho g} + \frac{V_n^2}{2g} \right) - \left( z_{\text{вс}} + \frac{p_{\text{вс}}}{\rho g} + \frac{V_{\text{вс}}^2}{2g} \right) = \\ &= z_n - z_{\text{вс}} + \frac{p_{\text{нг}} - p_{\text{вс}}}{\rho g} + \frac{V_n^2 - V_{\text{вс}}^2}{2g} \end{aligned}$$

или

$$p_n = \rho g (z_{\text{нг}} - z_{\text{вс}}) + (p_{\text{нг}} - p_{\text{вс}}) + \frac{\rho (V_{\text{нг}}^2 - V_{\text{вс}}^2)}{2} \cong p_{\text{нг}} - p_{\text{вс}},$$

где  $p_{\text{нг}}$  и  $p_{\text{вс}}$  – давление в линиях нагнетания и всасывания.

Как правило, ввиду малости  $p_{\text{вс}}$  и  $H_{\text{вх}}$  принимают  $p_n = p_{\text{нг}}$ . Напор (давление) на выходе насоса  $H_{\text{вых}}$  ( $p_{\text{нг}}$ ) возникает как отклик на нагрузку на гидродвигателе и потерь в гидроаппаратуре и гидролиниях.

Полезная мощность насоса, т. е. разность мощностей потока рабочей жидкости насоса на выходе и входе, определяется энергией, передаваемой насосом потоку рабочей жидкости за единицу времени:

$$N_n = \rho g Q_n H_n = p_{\text{нг}} Q_n,$$

где  $Q_n$  – подача рабочей жидкости, поступающей в гидравлическую систему, иногда называемой действительной или фактической.

Потребляемая насосом мощность  $N_{\text{потр}}$  (мощность на валу насоса – на входе в насос) превышает полезную мощность насоса  $N_n$  на величину потерь в насосе. Эти потери можно рассчитать через общий КПД насоса  $\eta_n$  как отношение мощностей полезной  $N_n$  к потребляемой  $N_{\text{потр}}$ :

$$\eta_n = N_n / N_{\text{потр}}.$$

Отсюда потребляемая насосом мощность определяется как

$$N_{\text{потр}} = \rho g Q_n / \eta = p_{\text{нг}} Q_n / \eta_n.$$

С другой стороны, потребляемую мощность (мощность на валу – на входе в насос) можно вычислить как

$$N_{\text{потр}} = M\omega.$$

Основной рабочей характеристикой насоса является напорная характеристика, выражающая для динамических насосов зависимость напора от подачи, а для объемных насосов – зависимость подачи от давления в линии нагнетания.

Применительно к динамическому насосу гидравлический КПД

$$\eta_{\text{гид.н}} = \frac{H_{\text{вых}}}{H_{\text{т.н}}} = \frac{H_{\text{вых}}}{H_{\text{вых}} + \sum h_{\text{пот}}},$$

где  $H_{\text{вых}}$  – реальный напор, передаваемый насосом жидкости;

$H_{\text{т.н}}$  – теоретический напор насоса;

$\sum h_{\text{пот}}$  – суммарные потери напора при движении жидкости внутри насоса.

Применительно к объемному насосу **объемный КПД**

$$\eta_{\text{об. н}} = \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{т.н}}} = \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{н}} + Q_{\text{ут}}} = \frac{Q_{\text{т.н}} - Q_{\text{ут}}}{Q_{\text{т.н}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ут}}}{Q_{\text{т.н}}},$$

где  $Q_{\text{т.н}} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{ут}}$  – теоретическая подача;

$Q_{\text{ут}}$  – суммарные объемные потери (утечки и перетечки жидкости через зазоры из полостей и внутри насоса, а также при сжатии жидкости).

**Механический КПД** насоса

$$\eta_{\text{мех.н}} = \frac{N_{\text{дв}} - \Delta N_{\text{тр}}}{N_{\text{дв}}} = \frac{N_{\text{гид.н}}}{N_{\text{дв}}},$$

где  $\Delta N_{\text{тр}}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения, возникающих в подшипниках, сопряженных деталях и уплотнениях насоса;

$N_{\text{гид.н}}$  – гидравлическая мощность насоса, т. е. мощность, которую насос может передать жидкости, если нет потерь (объемных и на местных гидравлических сопротивлениях),

$$N_{\text{гид.н}} = N_{\text{н}} + \Delta N_{\text{тр}} = \rho g \left( H + \sum h_{\text{пот}} \right) (Q_{\text{н}} + Q_{\text{ут}}).$$

После преобразований, сокращения и перегруппировки множителей имеем

$$\eta_{\text{н}} = \frac{H}{H + \sum h_{\text{пот}}} \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{н}} + Q_{\text{ут}}} \frac{N_{\text{гид.н}}}{N_{\text{потр}}} = \eta_{\text{гид.н}} \eta_{\text{об.н}} \eta_{\text{мех.н}}.$$

**Таким образом, полный КПД насоса  $\eta_{\text{н}}$  равен произведению трех частных КПД – гидравлического**

**$\eta_{\text{гид.н}}$ , объемного  $\eta_{\text{об.н}}$  и механического  $\eta_{\text{мех.н}}$ .**

**Гидродвигатель, основные параметры и рабочие характеристики.** Гидромашина, которая преобразует механическую энергию потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена и передает ее исполнительному механизму машины или агрегата, называют **гидродвигателем**. При прохождении потока рабочей жидкости через гидродвигатель энергия этого потока жидкости уменьшается на величину переданной потоком энергии.

Потребляемая гидродвигателем мощность определяется расходом и напором или давлением потока рабочей жидкости. **Полезная мощность гидродвигателя** определяется произведением преодолеваемой нагрузки и скорости движения выходного звена. Зависимость преодолеваемой нагрузки от скорости движения выходного звена является основной характеристикой гидродвигателя.

**Напор на гидродвигателе**  $H_{\text{гд}}$  – это энергия, которую двигатель забирает у потока рабочей жидкости; выражается разностью напоров на входе  $H_{\text{вх}}$  и выходе  $H_{\text{вых}}$  из гидродвигателя:

$$H_{\text{гд}} = H_{\text{вх}} - H_{\text{вых}} = (z_1 - z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g},$$

где индексами 1 и 2 обозначены сечения 1–1 и 2–2 потока на входе и выходе гидродвигателя.

Часто разность давления на входе и выходе называют давлением, потребляемым гидродвигателем, или перепадом давления,  $\Delta p_{\text{гд}}$ , т. е.

$$\Delta p_{\text{Гд}} = p_1 - p_2 = \rho g \Delta H_{\text{Гд}}.$$

Расход – объем жидкости  $Q_{\text{зд}}$ , потребляемый гидродвигателем из напорного трубопровода в единицу времени.

Момент, реализуемый на выходном валу гидродвигателя,  $M_{\text{Гд}}$ , (Н·м), – номинальная величина момента, которая соответствует установленному расчетному моменту сопротивления вращению вала от внешней нагрузки, подключенной к выходному звену гидродвигателя.

Мощность  $N_{\text{потр}}$ , (Вт), потребляемая гидродвигателем от потока рабочей жидкости, проходящего через него, определяется по формуле

$$N_{\text{потр}} = \rho g \Delta H_{\text{Гд}} Q_{\text{Гд}} = \Delta p_{\text{Гд}} Q_{\text{Гд}}.$$

Полезная мощность гидродвигателя  $N_{\text{Гд}}$ , (Вт), – мощность, развиваемая на валу гидродвигателя. При известных моменте  $M_{\text{Гд}}$  сопротивления вращению вала гидродвигателя и угловой скорости вращения  $\omega = 2\pi n / 60$  вала полезную мощность рассчитывают по формуле

$$N_{\text{Гд}} = M_{\text{Гд}} \omega.$$

КПД гидродвигателя вращательного типа  $\eta_{\text{Гд}}$  – отношение полезной  $N_{\text{Гд}}$  мощности к потребляемой  $N_{\text{потр}}$  (затраченной) мощности, определяется выражением

$$\eta_{\text{Гд}} = \frac{N_{\text{Гд}}}{N_{\text{потр}}} = \frac{M_{\text{Гд}} \omega}{\rho g Q_{\text{Гд}} \Delta H_{\text{Гд}}}.$$

Гидродвигатель с возвратно-поступательным движением выходного звена (гидроцилиндр) характеризуется скоростью  $V_{\text{вых.зв}}$  поступательного движения штока и преодолеваемой внешней силой  $F_{\text{вых.зв}}$  (нагрузка на штоке). Следовательно, полезная мощность, развиваемая гидроцилиндром,

$$N_{\text{Гд}} = F_{\text{вых.зв}} V_{\text{вых.зв}}.$$

Полный КПД  $\eta_{\text{Гд}}$  гидродвигателя равен произведению гидравлического  $\eta_{\text{гид.гд}}$ , объемного  $\eta_{\text{об.гд}}$  и механического  $\eta_{\text{мех.гд}}$  КПД.