

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Настоящее издание представляет собой пособие по дисциплинам «Гидравлика и гидропневмопривод», «Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования», «Устройство и эксплуатация гидравлических транспортных систем», входящим в учебные планы студентов и бакалавров высших учебных заведений транспортного профиля.

Материал издания предназначен для самостоятельного освоения учащимися изучаемых дисциплин и подготовки к зачетам и экзаменам.

В учебном пособии приведены общая характеристика гидропривода, устройство и функционирование насосов и гидродвигателей, гидроаппаратуры и вспомогательных устройств. Рассмотрены принципы функционирования объемного гидропривода, возможности его регулирования. В приложении даны методические указания и исходные данные для выполнения расчетно-графической работы (РГР) «Расчет объемного гидропривода». РГР направлена на закрепление у учащихся знания основных методов расчета объемных гидропередач и выработку практических навыков их применения к задачам проектирования гидросистем. В РГР включены 100 вариантов исходных данных, отличающихся по величинам внешних нагрузок и скоростей движения исполнительных органов, а также по типу исполнительных двигателей.

Изложение материала соответствует программам дисциплин гидравлического цикла, предусмотренных учебными планами подготовки в вузах транспортного профиля.

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОПРИВОДА

## 1.1. Основные понятия и определения

*Гидроприводом* называется гидравлическая система, представляющая собой совокупность гидромашин, гидроаппаратуры, гидролиний (трубопроводов) и вспомогательных устройств, предназначенная для передачи энергии и преобразования движения посредством жидкости. При этом одновременно могут осуществляться регулирование и реверсирование скорости выходного звена, а также преобразование одного вида движения в другой.

*Гидромашины*, входящие в состав гидропривода, – это насосы и гидродвигатели, которых может быть несколько.

*Гидроаппаратура* – это устройства управления гидроприводом, при помощи которых он регулируется, а также средства защиты его от чрезмерно высоких и низких давлений жидкости. К гидроаппаратуре относятся дроссели, клапаны различного назначения и гидрораспределители – устройства для изменения направления потока жидкости.

*Вспомогательными устройствами* служат так называемые кондиционеры рабочей жидкости, обеспечивающие ее качество и состояние. Это различные отделители твердых частиц (фильтры), теплообменники (нагреватели и охладители), гидробаки и гидроаккумуляторы.

Элементы гидропривода связаны между собой *гидролиниями*, по которым движется рабочая жидкость.

Принципиальная структура гидропривода представлена на рис. 1.1.

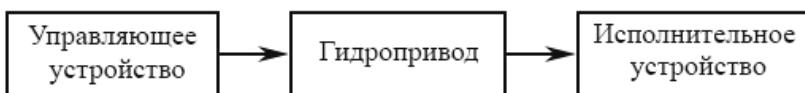


Рис. 1.1

Принцип действия гидропривода основан на практической несжимаемости жидкостей и передаче давления в них по закону Паскаля. При этом силы молекулярного взаимодействия и растягивающие силы обычно не учитываются. Как известно, удельная энергия жидкости определяется трехчленом Бернуlli:

$$E = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g},$$

где  $z$  – удельная потенциальная энергия положения частицы жидкости;  $\frac{p}{\rho g}$  – удельная потенциальная энергия давления;  $\frac{v^2}{2g}$  – удельная кинетическая энергия частицы жидкости.

Передачу энергии в гидроприводе может, в принципе, обеспечивать изменение любого из членов этого уравнения. Однако при разработке гидроприводов изменением потенциальной энергии положения пренебрегают. Поэтому гидроприводы могут быть двух типов: гидродинамическими и объемными. В гидродинамических приводах используется в основном кинетическая энергия потока жидкости  $\frac{v^2}{2g}$ . Кроме того, кинетическая энергия жидкости используется для вспомогательных (командных) целей. В объемных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости  $\frac{p}{\rho g}$ , они получили наибольшее распространение.

Обычно рабочее давление в элементах гидропривода существенно выше гидростатического давления, что позволяет не учитывать в работе гидропривода гидростатическое давление и его изменение.

## 1.2. Принцип действия объемного гидропривода

Рассмотрим схему простейшего гидропривода (рис. 1.2).

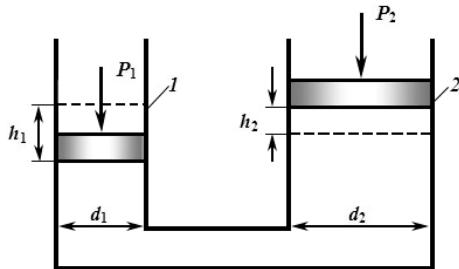


Рис. 1.2

Два цилиндра (*1* и *2*) заполнены жидкостью и соединены между собой трубопроводом. Поршень цилиндра *1* под действием силы  $P_1$  перемещается вниз на расстояние  $h_1$ , вытесняя жидкость в цилиндр *2*. Поршень цилиндра *2* при этом перемещается вверх на расстояние  $h_2$  и преодолевает нагрузку  $P_2$ .

Если пренебречь потерями давления (гидравлическими потерями и потерями на трение), то по закону Паскаля давление, создаваемое силой  $P_1$  в цилиндре *1*, передается на весь объем жидкости:

$$P_1 = \frac{P_1}{F_1} = \frac{P_2}{F_2} = p_2.$$

Здесь  $F_1$  и  $F_2$  – площади поршней цилиндров *1* и *2*.

Тогда соотношение между силами давления, действующими на поршни, будет

$$P_2 = P_1 \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2.$$

Считая жидкость практически несжимаемой, а цилиндры полностью герметичными, можно записать

$$h_1 F_1 = h_2 F_2 \quad \text{или} \quad v_1 F_1 = v_2 F_2,$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – скорости перемещения поршней.

Мощность, затрачиваемая на перемещение поршня в цилиндре 1, выражается соотношением

$$N = P_1 v_1 = p_1 F_1 v_1.$$

Но величина  $F_1 v_1 = Q$  является расходом жидкости. Тогда условие сохранения и передачи энергии (при отсутствии гидравлических потерь и сил трения) примет вид

$$P_1 v_1 = p Q = P_2 v_2. \quad (1.1)$$

Здесь  $P_2 v_2$  – мощность, развиваемая поршнем 2, то есть работа выходного звена системы, отнесенная к единице времени.

Из (1.1) следует, что повышать мощность гидропривода выгоднее не увеличением площадей поршней (что ведет к увеличению габаритов), а увеличивая давление, так как в этом случае происходит лишь незначительное увеличение размеров и веса гидропривода, вызванное необходимостью повышения его прочности.

### 1.3. Классификация объемных гидроприводов

Структурная схема гидропривода представлена на рис. 1.3.

В зависимости от конструкции и типа входящих в состав гидропередачи элементов объемные гидроприводы принято классифицировать по некоторым признакам.

По назначению:

- *силовой* гидропривод предназначен для передачи и трансформации потока мощности;

- гидропривод *систем управления* предназначен для приведения в действие органов управления различными вспомогательными устройствами.

В силовом гидроприводе управление потоком мощности производится непрерывно, поэтому при его эксплуатации важно иметь высокий уровень КПД. Для гидропривода систем управления главным является качество процесса управления, которое характеризуется такими показателями, как быстродействие, чувствительность, точность и устойчивость работы.



Рис. 1.3

#### По характеру движения выходного звена:

- гидропривод *поступательного движения* – с возвратно-поступательным движением выходного звена и гидродвигателями в виде гидроцилиндров;
- гидропривод *поворотного движения* – с возвратно-поворотным движением выходного звена на угол менее  $360^\circ$  и поворотными гидродвигателями;

- гидропривод *вращательного движения* – с вращательным движением выходного звена и гидродвигателями в виде гидромоторов.

По возможности регулирования:

- *нерегулируемый* гидропривод, в котором отсутствует возможность изменения скорости выходного звена;
- *регулируемый* гидропривод, в котором в процессе эксплуатации скорость выходного звена можно изменять по заданному закону.

Применяются следующие способы регулирования скорости выходного звена объемных гидроприводов:

- *дроссельное* регулирование, при котором изменение скорости осуществляется изменением гидравлического сопротивления линии или отводом части потока жидкости от насоса в сливной бак, минуя гидродвигатель;
- *объемное* регулирование, при котором изменение скорости осуществляется изменением рабочего объема насоса или гидродвигателя или того и другого одновременно;
- *объемно-дроссельное* регулирование, при котором скорость регулируется одновременно обоими способами.

Регулирование гидропривода может быть ручным, автоматическим и программным.

По характеру связи звена управления и выходного звена:

- *стабилизированный* гидропривод, в котором скорость выходного звена поддерживается постоянной при изменении внешних воздействий;
- *следящий* гидропривод, в котором его выходное звено повторяет движения звена управления.

По схеме циркуляции рабочей жидкости:

- гидропривод с *замкнутой схемой* циркуляции, в котором рабочая жидкость от гидродвигателя возвращается во всасывающую гидролинию насоса;
- гидропривод с *разомкнутой системой* циркуляции, в котором рабочая жидкость постоянно сообщается с атмосферой или гидробаком.

По источнику рабочей жидкости:

- *насосные* гидроприводы, в которых рабочая жидкость подается в гидродвигатели насосами, входящими в состав этих гидроприводов;
- *аккумуляторные* гидроприводы, в которых рабочая жидкость подается в гидродвигатели из гидроаккумуляторов, предварительно заряженных от внешних источников, не входящих в состав гидропривода;
- *магистральные* гидроприводы, в которых рабочая жидкость подается в гидродвигатели от специальной магистрали, не входящей в состав гидропривода.

По типу приводящего двигателя гидроприводы могут быть с электроприводом, с приводом от двигателей внутреннего сгорания, от турбин и т. д.

#### **1.4. Основные свойства гидропривода**

Регулируемые гидроприводы широко используются в качестве приводов станков, прокатных станов, прессового и литейного оборудования. В конструкции подъемных кранов гидропривод используется для привода лебедок, механизма поворота и изменения вылета стрелы. Гидроприводами снабжены практически все модели авто- и электропогрузчиков. На судах на гидроприводе работают якорные лебедки, грузоподъемные механизмы, рулевые машины. Такое широкое применение гидропривода обусловлено рядом его преимуществ по сравнению с механическими и электрическими передачами.

Основными достоинствами объемного гидропривода являются:

- компактность и малая удельная масса, то есть масса гидропривода, приходящаяся на единицу передаваемой мощности; для объемного гидропривода это 0,2–0,3 кг на 1 кВт, для электропривода она в 5–10 раз больше;
- бесступенчатое регулирование передаточного числа, изменение в широком диапазоне скорости выходного звена и возможность создания больших передаточных отношений;
- простота управления;
- конструктивно простой и надежный приводящий двигатель (предохраняется от перегрузок);
- плавность, равномерность и устойчивость движения при изменяющейся нагрузке – жесткость по отношению к нагрузке. При необходимости гидропривод может иметь либо жесткую, либо нежесткую нагрузочную характеристику;
- малая инерционность, высокие динамические свойства, обеспечивающие быструю смену режимов работы: пуск, разгон, реверс, остановка;
- существенное снижение по сравнению с приводами другой природы (электрических, механических) динамических нагрузок на узлы механизма, особенно при пуске и остановке;
- возможность размещения узлов гидропривода на удалении друг от друга, независимость их расположения, свобода компоновки, то есть высокие коммутационные свойства;
- простота преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное;
- возможность реверсирования ведомого органа при неизменном направлении вращения источника энергии;
- меньшая травмоопасность по сравнению с электроприводом.

Вместе с тем для гидропривода характерны и недостатки:

- более низкий КПД по сравнению с механическими и электрическими приводами, к тому же он снижается в процессе регулирования и эксплуатации;
- возможности утечки рабочей жидкости из гидросистем, что снижает КПД, вызывает неравномерности движения выходного звена;
- взрыво- и огнеопасность применяемых рабочих жидкостей, их чувствительность к загрязнению;
- влияние условий эксплуатации на рабочие характеристики привода.

Последний недостаток связан с влиянием температуры на вязкость рабочей жидкости. Главными требованиями, которым должна отвечать рабочая жидкость, являются высокие смазывающие свойства и оптимальная вязкость. Чрезмерно большая вязкость вызывает большие гидравлические потери на трение, малая вязкость приводит к увеличению объемных потерь, утечкам в щелевых уплотнениях и снижению смазочных свойств.

### **1.5. Рабочие жидкости гидропривода**

В системах гидроприводов и гидроавтоматики можно применять любые капельные жидкости, однако для эффективного функционирования гидроприводов жидкости, используемые в них, должны удовлетворять ряду технологических требований.

В соответствии с условиями эксплуатации в гидроприводе рабочая жидкость является одновременно носителем энергии и смазкой. При этом она подвергается воздействию высоких давлений, скоростей и температур. Перепады давления в гидроприводе могут достигать 80–100 МПа, скорости движения жидкости в отдельных элементах привода доходят до 80 м/с, а обычный интервал температур – от 10 до 80°С.

В процессе эксплуатации рабочая жидкость может изменять свои физико-химические свойства. Например, при протекании масла с большими скоростями через узкие щели изменяется его молекулярное строение и ухудшаются смазывающие свойства. Перемешивание масла с воздухом приводит к пенообразованию, окислению масла и ускоренному изменению его молекулярной структуры. Особенно интенсивно этот процесс протекает при высоких температурах (более 60°C). При этом ухудшаются антикоррозийные свойства рабочей жидкости, из нее выделяются шлаки (зола) и на поверхностях элементов гидропривода образуется смола. Это приводит к защелкиванию узких щелей, иногда и к заклиниванию движущихся деталей.

При выборе рабочей жидкости необходимо учитывать:

- вязкость;
- диапазон температур окружающей среды и максимально возможную температуру жидкости в установленном режиме работы;
- давление жидкости в гидроприводе;
- допустимую длительность эксплуатации.

Нельзя не учитывать также и стоимость рабочей жидкости.

Одной из наиболее доступных и дешевых рабочих жидкостей является вода, однако ее применение ограничено из-за серьезных недостатков. Вода обладает плохой смазывающей способностью, приводит к коррозии поверхностей стальных деталей, затвердевает при температуре 273,15°К и закипает при сравнительно низких температурах, зависящих от давления.

Основные требования, предъявляемые к рабочим жидкостям гидроприводов:

- жидкости должны обладать хорошей смазывающей способностью;
- жидкости не должны содержать воды, кислот и щелочей, вызывающих коррозию металлов (а щелочи – ещё и пенообразование);

- жидкости не должны содержать механических примесей, они должны выделять минимальное количество паров и газов;
- жидкости должны обладать высокими температурами кипения и вспышки и низкой температурой замерзания;
- жидкости должны обладать малым коэффициентом температурного расширения, низким и стабильным коэффициентом сжимаемости. Больше всего сжимаемость жидкости проявляется при давлении до 3–5 МПа, при более высоком давлении сжимаемость уменьшается. Поэтому гидропередачи, требующие особой точности и чувствительности, должны работать при давлениях, превышающих 3–5 МПа, особенно если использованы большие объемы рабочих жидкостей;
- жидкости не должны вредно влиять на уплотняющие материалы, быть стойкими к механическому и химическому разрушению, не должны быть токсичными.

Чаще всего в качестве рабочей жидкости в объемных гидроприводах применяются однородные жидкости – минеральные масла. Это обусловлено их низкой стоимостью, доступностью применения в больших количествах, хорошей смазывающей способностью и сравнительно большим сроком службы при высоких давлениях.

Однако минеральные масла также имеют недостатки, ограничивающие область их применения. При пониженных температурах чрезвычайно увеличивается их вязкость. При высоких температурах резко ухудшаются смазывающие способности этих масел. При этом из них выпадают смолянистые осадки, осаждающиеся на внутренних поверхностях гидросистемы. Минеральные масла разлагаются при высоких температурах, а также в результате реакции с кислородом, содержащимся в воздухе. Они могут разрушаться также в результате контакта с медью и ее сплавами.

Для работы при низких температурах применяют различные смеси глицерина и спирта, а также керосина.

В гидроприводах, работающих при высоких температурах (от 450 до 600°К), используют синтетические жидкости. Это силиконовые и кремнийорганические жидкости с высокотемпературными свойствами. Такие жидкости имеют высокую химическую стойкость, у них отсутствует коррозионная активность, они хорошо смешиваются с минеральными маслами. Недостатки полимерных жидкостей проявляются в том, что они:

- обладают высокой текучестью, что ухудшает герметичность гидросистем;
- растворяют пластификаторы резиновых уплотнений, делают уплотнения более хрупкими и ломкими;
- имеют более низкий модуль упругости, чем минеральные масла;
- имеют низкое поверхностное натяжение, из-за чего вспениваются и плохо смазывают поверхности, поэтому их нельзя применять в трущихся парах;
- разрушаются в присутствии медных сплавов (например, латуни).

Для работ при более высоких температурах (до 1050°К) перспективным является применение в качестве рабочих жидкостей жидких металлов, например сплава натрия и калия (77% Na и 23% K). Плотность этого жидкого сплава соизмерима с плотностью синтетических жидкостей, а модуль объемной упругости в пять-шесть раз больше. Жидкие металлы не вспениваются, в них практически не растворяются газы.

Недостатками жидких металлов, используемых в качестве рабочих жидкостей, является то, что они:

- имеют плохие смазывающие свойства;
- окисляются при контакте с кислородом.

Поэтому к гидросистемам с жидкими металлами в качестве рабочей жидкости предъявляются высокие требования по герметизации. Кроме того, окислы этих металлов осаждаются в местах с наиболее низкой температурой, а сами жидкие металлы могут сплавляться с конструкционными материалами.

В гидродинамических передачах, где скорости циркуляции жидкости большие, используют маловязкие жидкости, чаще всего водомасляные эмульсии. Эмульсия представляет собой механическую смесь специальных присадок и чистой воды. Присадки изготавливаются из нефтепродуктов, минеральных масел, эмульгаторов и ингибиторов коррозии. Приготовление эмульсии осуществляется путем тщательного перемешивания присадки с водой по специальной технологии с соблюдением требований, определенных для каждой присадки. Качественно приготовленная эмульсия агрегативно устойчива в процессе хранения и работы при высоком давлении, обладает смазывающими и коррозионно-защитными свойствами. Плотность водомасляной эмульсии практически не отличается от плотности воды, замерзает она при той же температуре, что и вода. Однако из-за того, что эмульсии имеют меньшую вязкость, чем масла, для уменьшения утечек требуются более совершенные уплотнения.

Общий недостаток всех рабочих жидкостей – склонность к заражению малых проходных отверстий и зазоров (*облитерация*). Это происходит из-за адсорбции молекул жидкости, которые образуют на твердых поверхностях прочный слой, по толщине соизмеримый с размерами самих проходных сечений, что вызывает быстрое уменьшение расхода жидкости и ухудшает характеристики регулирующих и управляющих устройств. Для устранения зарастания отверстий иногда применяют искусственно созданную вибрацию подвижных органов с частотой до 30 Гц.

Таким образом, рабочую жидкость для каждой гидросистемы выбирают, исходя из условий, предъявляемых к этой системе. Рабочие жидкости универсального назначения еще не созданы.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)