ВВЕДЕНИЕ

Гидравлические и пневматические системы широко применяются в транспортных, транспортно-технологических системах машин и оборудования. Основные преимущества гидропривода это - возможность получения больших усилий или моментов, поскольку гидропривод обладает высокой энергонапряженностью рабочей среды при плавном равномерном движении рабочего органа и возможность бесступенчатого регулирования скоростей в широком диапазоне.

Простота преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и возвратно-вращательное движение характерны для гидравлических приводов. Так же гидропривод характеризуют малый момент инерции, обеспечивающий быстрое реверсирование, мгновенность передачи командных импульсов, простота предохранительных устройств.

Гидропривод обладает высоким коэффициентом полезного действия,легкостью управления и регулирования при высокой надежности работы привода.

Гидравлический привод применяется на строительно-дорожных, подъемно-транспортных, аэродромных, сельскохозяйственных, лесозаготовительных, ракетных, военно-космических и других самоходных машинах различного технологического назначения.

Эти машины, агрегаты и системы характеризуются большой грузоподъемностью и энерговооруженностью, имеют, как правило, кроме силового гидравлического привода передвижения, широко разветвленную систему гидравлических приводов вспомогательных и специальных механизмов.

Целью данного является дать студентам базовый объём теоретических знаний и навыков в области гидравлики, гидравлических и пневматических машин и приводов, позволяющий эффективно решать производственно-технологические вопросы по сервису до-

рожно-строительных машин и оборудования. В пособии представлена классификация гидро- и пневмопередач, области их применения. Рассмотрен принцип действия объёмных гидравлических и пневматических машин, имеющих различные кинематические схемы. Приведены принцип действия и основные расчетные зависимости силовых и кинематических характеристик динамических машин.

Подробно рассмотрен принцип действия следящих приводов. Разобраны типовые гидравлические схемы и конструкции, принцип действия и расчет следящих приводов рулевого управления автомобилем.

Гидравлический привод применяется на многих машинах: экскаваторах, бульдозерах, автогрейдерах, скреперах, валочно-трелевочных и валочно-пакетирующих машинах, погрузчиках, зерноуборочных машинах, для привода рабочего оборудования. Колесного или гусеничного движителя, выносных опор и рулевого управления. В настоящее время около 90% самоходных машин различного технологического назначения оснащено гидроприводом.

В основу учебного пособия положена рабочая программа по дисциплине «Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (ТиТТМО)» направление подготовки 23.03.03. «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» направленность сервис дорожно-строительных машин и оборудования.

1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

Жидкость в гидросистеме выполняет важные и многосторонние функции. В гидроприводе и гидропередаче жидкость в основном выполняет функции рабочего тела, поэтому ее называют рабочей жидкостью, кроме того, она является смазочным и охлаждающим агентом пар трения, средой, удаляющей из пар трения продукты изнашивания и обеспечивающей при длительной эксплуатации защиту деталей от коррозии.

В других типах гидросистем жидкости выполняют также основную функцию, но не являются рабочим телом. В системах смазки их называют маслами, в системах охлаждения – охлаждающими или смазочно-охлаждающими (СОЖ) жидкостями, в гидроприводах тормозов – тормозными жидкостями. Комплекс физико-химических свойств рабочей жидкости должен наилучшим образом обеспечивать ее основную и дополнительные функции.

Единой системы квалификации и обозначения рабочих жидкостей не существует. Распространено обозначение рабочих жидкостей по области применения. Чаще их называют маслами гидравлическими, вводя в обозначение буквы МГ с дополнительным уточнением назначения: для гидросистем общепромышленного назначения – масла гидравлические (МГ), для авиационной техники – АМГ, для мобильных объектов – МГЕ, ВМГЗ. Очень часто рабочие жидкости на нефтяной основе называются просто маслами.

Для обеспечения кинематических связей и хороших динамических устройств рабочее тело должно иметь большой модуль объемной упругости $E_{\text{об.уп}}$. Масла соответствуют этому требованию $\left(E_{\text{об.уп}} = 1{,}5...1{,}9\,\text{ГПа}\right)$. Значительно хуже обстоит дело с некоторыми синтетическими жидкостями, для которых $E_{\text{об.уп}} = 0{,}6...1{,}5$ ГПа.

Энергоемкость рабочей жидкости определяется давлением, которое она может выдержать без разрушения ($\Theta = p$). Энергоемкость Θ и мощность $N = pQ$ потока жидкости с расходом Q практически не ограничены в пределах существующих технических средств обеспечения высокого давления.

Вязкость масла является наиболее важным показателем, определяющим большинство эксплуатационных свойств (характер смазывания, трение, износ, утечки, пусковые характеристики), поэтому вязкость указывают в обозначении типа масла. Принято указывать в обозначении масла кинематическую вязкость υ_{50} в сСт при температуре 50ºС (например, АМГ-10, МГЕ-10). В соответствии с

международным соглашением в дальнейшем возможна маркировка масел по вязкости υ_{40} при температуре 40ºС.

В гидросистемах используются рабочие жидкости на нефтяной основе, синтетические всесезонная и вязкая рабочие жидкости для работы при повышенных температурах, негорючие рабочие жидкости, а также негорючие эмульсии.

Назначение гидросистем определяет условия эксплуатации рабочих жидкостей (температуру окружающей среды, продолжительность работы и хранения, режимы работы и нагрузки в парах трения), требования к надежности, взрывопожаробезопасности и т. д. Рабочие жидкости на нефтяной основе на 85…98% состоят из базового масла, свойства которого улучшают введением присадок. Базовое масло получают при переработке нефти первоначальной перегонкой на фракции, в состав которых входят углеводороды примерно одинаковой молекулярной массы. Это возможно потому, что температура кипения нефтяных углеводородов приблизительно пропорциональна их молекулярным массам. Такой метод производства называется прямогонным, сырые фракции – дистиллятами, а полученные из них после отбора и соответствующей очистки базовые масла – дистиллятными. Базовое масло в значительной степени определяет основные свойства рабочей жидкости, особенно температуру вспышки и застывания, испаряемость, совместимость с материалами уплотнений и покрытий.

Для гидросистем агрегатов, которые работают в закрытых отапливаемых помещениях при температуре окружающей среды преимущественно в пределах от 0 до +35ºС, применяют масло повышенной вязкости ($\upsilon_{50} = 20...40$ сСт) и теплостойкости, что улучшает стабильность к окислению и смазочные свойства. Гидросистемы должны работать без смены масла не менее 2…5 тыс. ч при возможности периодического его пополнения. Не допускается применение токсичных продуктов. Очень важно, чтобы масло было дешевым и недефицитным.

В гидросистемах, работающих при температуре масла до +60ºС с легкими нагрузочными характеристиками в парах трения, применяют индустриальные масла общего назначения без присадок (ГОСТ 20799-75): И-12А, И-20А, И-30А, И-40А, И-50А.

Эти масла выпускают вместо масел ИС-12, ИС-20, ИС-30, ИС-45, ИС-450.

В гидросистемах, работающих при температуре масла свыше +60ºС при давлениях до 15…20 МПа, применяют в основном турбинные масла (ГОСТ 9972-74) из парафиновой малосернистой и сернистой нефти с антиокислительной, противокоррозионной и противопенной присадками: Тп-22, Тп-30, Тп-46.

Заменители этих масел – масла соответственно Т-22, Т-30, Т-46 (ГОСТ 32-74), не содержащие присадок и требующие поэтому более частой замены.

Гидросистемы с тяжело нагруженными элементами, работающие при давлении 16…35 МПа, рекомендуется эксплуатировать на маслах серии ИГП (ТУ 38-101413-73) с улучшенными за счет присадок противоизносными, антиокислительными, противопенными и антикоррозионными свойствами: ИГП-18, ИГП-30, ИГП-38, ИГП-49. Масла серии ИГП готовят на основе глубокоочищенных базовых масел (дистиллятных, остаточных и их смесей) из сернистой и малосернистой нефти с композицией присадок ДФ-11, В15/41, ПМС-200А.

Для гидросистем агрегатов, работающих в различных климатических зонах, используются масло МГЕ-4А по ТУ 38.101573-75, масло РМ по ГОСТ 15819-70, масло МГЕ-10А по ТУ 38.101572-75, масло ВМГЗ по ТУ 38.101479-74, масло АМГ-10 по ГОСТ 6794-75, масло ГЖД-14С по ТУ 38.101252-72, масло АУ по ГОСТ 1642-75, масло АУП по ТУ 38.001234-75, масло Р по ТУ 38.101179-71, масло ЭШ по ГОСТ 10363-78, масло МГ-30 по ТУ 38.10150-70. В зависимости от климатической зоны диапазон изменения температуры окружающей среды может составлять 100…110ºС, а температура масла при работе достигает 150…160ºС, что требует пологой вязкостно-температурной характеристики масла. Для обеспечения пуска насо-

сов при низких температурах вязкость масла $\upsilon_{макс}$ должна быть не более 4000…5000 сСт (в зависимости от конструктивной схемы), а нормальное функционирование гидроавтоматики возможно при вязкости $\upsilon_{макс}$ не более 1500 сСт. Минимальная вязкость $\upsilon_{мин}$ по условиям сохранения смазочной пленки и допустимому уровню утечки должна быть не менее 3 сСт. Всесезонное масло, допускающее пуск гидросистемы в любой климатической зоне, не обеспечивает длительного ресурса при высоких температурах, поэтому необходимо иметь несколько сортов масел с разными вязкостями.

Для гидросистем, эксплуатируемых в очень холодных зонах при температурах ниже −55ºС, и для систем гидроавтоматики с насосом гидродинамического типа применяют маловязкие масла МГЕ-4А, РМ, ЛЗ-МГ-2.

Верхний температурный предел длительной работы масел на нефтяной основе составляет 80…90ºС, кратковременно эту температуру можно повышать до 110…120ºС. Если гидропередачу рассчитывают на эксплуатацию при более высоких температурах, то в ней приходится использовать дорогие и дефицитные высокотемпературные синтетические жидкости. Серьезным недостатком масел на нефтяной основе является их горючесть, поэтому при повышенных требованиях к взрывопожаробезопасности объектов приходится применять негорючие или огнестойкие жидкости. Существует широкий ассортимент таких жидкостей, однако их использование связано с решением сложных проблем. Основным препятствием к широкому применению синтетических жидкостей является их высокая стоимость, ограниченность сырьевых ресурсов, необходимость замены в гидросистеме материалов уплотнений и некоторых металлов, токсичность многих жидкостей или продуктов их разложения. Кроме того, многие синтетические жидкости, обладая рядом уникальных свойств, не соответствуют комплексу остальных требований.

Водосодержащие жидкости представляют собой самостоятельный класс огнестойких синтетических жидкостей, пожаробезопасность которых обеспечивается присутствием в них воды. Ос-

новные компоненты водно-гликолевых жидкостей – раствор гликоля (обычно этиленгликоль) в количестве 50…60% и воды в количестве 35…45%, водорастворимый загуститель и другие присадки. Вследствие высокой токсичности этиленгликоля создан класс водно-глицериновых жидкостей, в которых этиленгликоль заменен нетоксичным глицерином, причем подбором концентраций глицерина, воды и присадок обеспечены требуемые для рабочих жидкостей свойства. Водосодержащие жидкости обладают удовлетворительными вязкостно-температурными, смазывающими и антикоррозионными свойствами. Большим преимуществом этих жидкостей является совместимость с материалами уплотнений и рукавов на основе нитрильных каучуков. Водосодержащие жидкости малосжимаемы (модуль объемной упругости $E_{\text{об.уп}} = 2000$МПа при температуре 20ºС) и имеют самую большую теплоемкость по сравнению с другими рабочими жидкостями [$c = 2{,}5...3{,}2$ кДж/(кг·ºС)].

Недостатком водосодержащих жидкостей является электропроводность, крайне затрудняющая возможность применения электроэлементов в их среде. Совместимость водосодержащих жидкостей с лакокрасочными покрытиями следует анализировать дополнительно. Водосодержащие жидкости негорючи до тех пор, пока концентрация воды сосотавляет не меньше 30% по массе, поэтому их следует применять в герметизированных гидросистемах, обеспечивающих отсутствие потерь от испарения воды.

Критерием при оценке и выборе рабочей жидкости для гидросистем являются такие параметры, как плотность, вязкость, сжимаемость. Ниже будут рассмотрены наиболее важные из них.

Объемным весом называют вес единицы объема жидкости

$$\gamma = G/V, \text{ кгс/м}^3(\text{Н/м}^3), \qquad (1.1)$$

где G – вес жидкости в кгс (Н);

V – объем жидкости в м^3.

Для минеральных масел $\gamma = 840...950$кгс/м^3.

Плотность ρ жидкости характеризуется величиной ее массы, заключенной в единице объема,

$$\rho = m/V \text{, кгс·с}^2/\text{м}^4 \text{ (кг/м}^3\text{)}, \quad (1.2)$$

где m – масса жидкости в кгс·с^2/м (кг).

Объемный вес и плотность связаны зависимостью

$$\rho = \gamma / g, \quad (1.3)$$

где g – ускорение силы тяжести в м/с^2.

Сжимаемостью жидкости называется свойство жидкости изменять первоначальный объем при изменении давления. Она характеризуется коэффициентом относительного объемного сжатия

$$\beta = (1/\Delta p)(\Delta V/V), \text{ м}^2/\text{кгс (м}^2/\text{Н)}, \quad (1.4)$$

где Δp – величина изменения давления в кгс/м^2 (Н/м^2);

ΔV – изменение объема жидкости в м^3;

V – объем жидкости в м^3.

Таким образом, коэффициентом относительного объемного сжатия называется величина относительного изменения объема жидкости, приходящаяся на единицу изменения давления.

Величина, обратная коэффициенту относительного объемного сжатия, называется модулем объемной упругости жидкости и обозначается через $E_{\text{об.уп}}$, т. е.

$$E_{\text{об.уп}} = 1/\beta \text{, кгс/м}^2 \text{ (Н/м}^2\text{)}. \quad (1.5)$$

Для масел, используемых в гидросистемах, модуль объемной упругости находится в пределах $1{,}4\cdot10^8 \ldots 1{,}9\cdot10^8$ кгс/м^2 ($1{,}4\cdot10^8 \ldots 1{,}9\cdot10^8$ Н/м^2), т. е. относительное изменение объема жидкости при давлении 100 кгс/м^2 составляет 0,5…0,7%.

В ряде случаев таким изменением объема можно пренебречь, если сжимаемость жидкости не определяет качество работы привода или другого гидравлического устройства. В быстродействующих гидравлических следящих приводах из-за этого свойства жидкости ухудшаются их динамические характеристики.

Вязкость жидкости – это способность ее слоев (частиц) сопротивляться сдвигу. Различают вязкость динамическую и кинематическую. Количественно вязкость определяется динамической вязкостью, представляющей собой касательную силу, необходимую для перемещения одного слоя жидкости площадью 1 м^2 относительно другого, находящегося на расстоянии 1 м, с градиентом скорости 1 м/с·м.

Размерность динамической вязкости кгс·с/м^2 (Н·с/м^2).

В гидравлических расчетах используется также отношение динамической вязкости $\upsilon_д$ к плотности жидкости ρ, которое называется кинематической вязкостью

$$\upsilon_к = \upsilon_д / \rho, \text{ м}^2/\text{с}. \qquad (1.6)$$

В системе СГС кинематическая вязкость выражается в см^2/с. Величина вязкости, равная 1 см^2/с, называется стоксом (Ст). В технической практике обычно используется сантистокс (сСт). Он равен 0,01 Ст.

Между единицами кинематической вязкости, выраженными в системах МКГСС и СГС, существуют следующие соотношения:

1 см^2/с=10000 Ст=1000000 сСт.

Вязкость жидкости в большой мере зависит от ее температуры, причем с изменением последней вязкость разных жидкостей изменяется по-разному. Может оказаться, что рабочая жидкость (например, масло), имеющая высокую вязкость при температуре испытания, будет недостаточно вязка при температуре установившегося режима работы гидросистемы.

Вязкость жидкости зависит также и от давления, причем весьма заметное изменение вязкости соответствует высоким давлениям.

Все жидкости обладают способностью растворять газы. Растворимость газов в минеральных маслах зависит от различных факторов. Так, например, растворимость воздуха в них увеличивается с увеличением давления. Кроме того, растворимость воздуха в масле

зависит и от температуры, с повышением которой растворимость увеличивается.

На время растворения газов в жидкостях влияет величина поверхности соприкосновения газа с жидкостью. При вспенивании или взбалтывании жидкости величина этой поверхности сильно увеличивается, и время насыщения жидкости газом может уменьшиться до нескольких минут вместо нескольких часов, как это наблюдается в жидкостях со спокойной поверхностью.

При понижении давления или температуры жидкости газ, находившийся в ней в дисперсном состоянии, начинает бурно выделяться в виде пузырьков до тех пор, пока не наступит равновесие между жидкостью и растворенным в ней газом. Выделившиеся пузырьки образуют механическую смесь газа с жидкостью, которая отрицательно влияет на работу гидравлического привода вследствие увеличения сжимаемости рабочего тела. Увеличение сжимаемости жидкости может привести к нежелательным процессам в гидроприводе. Кроме того, наличие, например, пузырьков воздуха способствует окислению масла.

Пусть мы имеем цилиндр с плотно пригнанным поршнем (рис. 1.1). Все внутреннее пространство цилиндра 1 полностью заполнено жидкостью. Если к поршню 2 приложить силу F, как изображено на рис. 1.1, то давление внутри цилиндра будет уменьшаться, однако поршень некоторое время останется в первоначальном положении. Жидкость в этом случае будет по-прежнему заполнять всю внутреннюю полость цилиндра. С увеличением силы F давление жидкости уменьшится до некоторого значения, при котором поршень начнет двигаться в направлении действия этой силы. Жидкость при этом разрывается, и в ней образуются пустоты в виде пузырьков. Это явление, возникающее при давлениях, стремящихся к нулю, называется кавитацией. Если действие силы F прекратить, то поршень резко переместится и займет первоначальное положение.

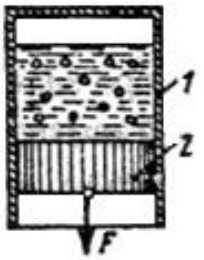


Рис. 1.1. Схема кавитации: 1 – цилиндр; 2 – поршень

Явление кавитации отрицательно сказывается на работе гидравлических приводов. Особенно опасна кавитация в высокооборотных гидронасосах, так как она вызывает ударные нагрузки на поршень или прекращает поступление жидкости в насос. Экспериментальной проверкой установлено, что минеральные масла имеют невысокую объемную прочность, под которой следует понимать способность жидкости сопротивляться разрыву. Различные жидкости имеют разную объемную прочность. Например, объемная прочность масла АМГ-Ю больше объемной прочности керосина. Объемная прочность уменьшается с увеличением растворенного в жидкости воздуха и увеличивается после опрессовывания ее давлением, а также в результате выдержки времени. Давления, при которых возникает кавитация минеральной жидкости, находятся в пределах от 0 до 0,9 кгс/см^2.

При резком изменении управляющего сигнала регулятора возникает импульс, который начинает двигаться вдоль трубы. Скорость передачи гидравлического импульса в жидкости равна примерно 1000 м/с. При такой малой скорости динамические характеристики гидроприводов могут ухудшиться, так как возможно запаздывание движения гидромотора от входного сигнала. Особенно это заметно в гидроприводах с длиной основной гидромагистрали больше 2 м. Поэтому гидромагистрали, соединяющие регулятор (например, золотник) с гидродвигателем, должны быть как можно короче.

Если мгновенно перекрыть трубу, по которой течет жидкость, то движение слоев жидкости в месте перекрытия тоже мгновенно прекратится. Это вызовет повышение давления около заслонки за счет инерционных свойств массы жидкости, имеющей первоначаль-

ную скорость. Таким образом, масса жидкости при изменении скорости, происходящем за малый промежуток времени, создаст силу, являющуюся причиной возникновения давления. Давление жидкости из-за ее сжимаемости начнет распространяться от места перекрытия вдоль трубы со скоростью звука. Такой процесс быстрого изменения давления в трубопроводе, обусловленный инерционными свойствами жидкости, называется *гидравлическим ударом.* Давление гидравлического удара необходимо учитывать при проектировании гидравлических систем, а также при расчете их элементов на прочность. Величина скачка давления при гидравлическом ударе в некоторых случаях может превзойти рабочее давление в 2…3 раза. Если элементы привода не рассчитаны на такое давление, то может произойти авария системы в результате, например, непроизвольного срабатывания клапанов, гидравлических замков и реле или в результате разрушения элементов гидросистемы.

Необходимо отметить также, что инерционные свойства жидкости определяют не только величину гидравлического удара. Они оказывают значительное влияние и на приведенную массу подвижных элементов гидропривода, особенно при наличии жидкости в каналах с малым сечением.

Для обеспечения заданных характеристик гидравлических систем важно, чтобы жидкость была стабильной, т. е. устойчивой к окислению, и сохраняла вязкость при многократном механическом воздействии (мятии) и колебаниях температуры.

Механические потери в гидравлических системах, утечки рабочей жидкости, сказывающиеся на ее общем расходе, и следовательно, на расходе мощности, наконец, скорость срабатывания исполнительных механизмов во многом зависят от вязкости жидкости. Если еще принять во внимание, что многие гидрофицированные агрегаты работают при большом перепаде температур в течение года, то выбор рабочих жидкостей для гидравлических систем таких агрегатов представляет собой важную проблему.

Очевидно, наиболее подходящей для гидравлических систем является жидкость, вязкость которой мало изменяется при изменении температуры и давления.Следует еще указать, что рабочая жидкость должна иметь минимальную вспениваемость и летучесть, низкий коэффициент расширения и высокий модуль упругости. Для тяжелых агрегатов и машин последнее свойство очень важно, потому что позволяет исключить появление фрикционных колебаний при малых скоростях перемещения тяжелых узлов по направляющим и обеспечить точность их перемещений.

Загрязняющие примеси и их влияние на состояние гидросистемы и ее элементов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Загрязняющие примеси и их влияние на состояние гидросистемы и ее элементов

Примесь	Причины образования примесей	Влияние на состояние гидросистемы
Окислительные вещества	Старение, перегрев рабочей жидкости, наличие влаги	Коррозия металлов
Шлам	То же	Засорение фильтров и оборудования
Вода	Неисправности системы охлаждения, конденсация воды и атмосферного воздуха	Образование ржавчины, ухудшение смазочных свойств
Воздух	Засасывание воздуха через уплотнения и гидроцилиндры, а также в местах неисправности всасывающих магистралей	Кавитация, эрозия
Газы	Чрезмерно высокая зарядка пневмогидравлического аккумулятора без разделителя	Кавитация, эрозия
Жидкие примеси	Недостаточная промывка или очистка рабочей жидкости, ошибки при изготовлении смеси, неисправность оборудования	Неудовлетворительная работа гидрооборудования
Частицы металлов	Износ деталей	Засорение фильтров и гидрооборудования