

РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ
ГИДРОСИСТЕМ И ИХ СВОЙСТВА.
ВЫБОР РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ И
ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Лекция 2

1.1 Рабочая жидкость и ее свойства

Рабочая жидкость является рабочим телом гидропривода и может рассматриваться как его элемент. Одновременно она выполняет функции смазочного и охлаждающего агента, а также защищает детали от коррозии, т.е. обеспечивает работоспособность и надежность узлов гидропривода.

В качестве рабочих жидкостей в гидравлическом приводе применяют *минеральные масла, водомасляные эмульсии, смеси и синтетические жидкости*. Выбор типа и марки рабочей жидкости определяется назначением, степенью надежности и условиями эксплуатации гидроприводов машин.

Наиболее полно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к рабочей жидкости, *минеральные масла нефтяного происхождения*.

Водомасляные эмульсии представляют собой смеси воды (93-97%) и минерального масла с присадками (3-7%). Минеральные масла в эмульсиях служат для уменьшения коррозионного воздействия рабочей жидкости и увеличения смазывающей способности. Эмульсии применяют в гидросистемах машин, работающих в пожароопасных условиях.

Смеси различных сортов минеральных масел между собой, с керосином, глицерином и т.д. применяют в гидросистемах высокой точности, а также в гидросистемах, работающих в условиях низких температур.

Для специальных гидрориводов применяются также *синтетические жидкости* на основе органических и кремнийорганических соединений.

Основными показателями для оценки качества рабочей жидкости служат вязкостно-температурные

свойства, химическая и физическая стабильность, агрессивность по отношению к резиновым уплотнительным деталям и смазочная способность.

Вязкость жидкости

Под вязкостью жидкости понимается ее свойство оказывать сопротивление деформации сдвига. Вязкость одна из наиболее важных характеристик для расчета, проектирования и эксплуатации гидропривода. От вязкости жидкости зависят объемные и механические потери при работе гидромашин, возможность работы гидропривода при низких и высоких температурах.

Описание характеристики вязкости жидкости основано на **гипотезе Ньютона**, согласно которой напряжение сдвига между соседними слоями жидкости бесконечно малой толщины пропорционально градиенту скорости сдвига в направлении, перпендикулярном к направлению движения жидкости.

Сила внутреннего трения $T = \pm \mu F \frac{du}{dy}$

где F - площадь поверхности соприкасающихся слоев жидкости;

μ – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом динамической (абсолютной) вязкости жидкости;

u – скорость сдвига;

y – расстояние между слоями жидкости, измеренное перпендикулярно направлению ее движения.

Напряжение от силы трения $\tau = \pm \mu \frac{du}{dy}$

Следовательно, динамическая вязкость численно равна касательному напряжению τ при единичном градиенте скорости.

В системе **СИ** единица измерения динамической вязкости - паскаль·секунда ($Па \cdot с = Н \cdot с / м^2$).

В технической системе вязкость выражается в **пуазах** (П), причем вязкость жидкости равна 1П, если сила, необходимая для того, чтобы перемещать одну относительно другой две параллельные пластинки из жидкости с площадью поверхности 1 см^2 и градиентом скорости $1 \text{ см/с} \cdot \text{см}$, составляет 1 дину. Вязкость воды при 20°C равна примерно 1П.

Для маловязких жидкостей μ обычно выражают в сантипуазах (сП).

Коэффициенты динамической вязкости связаны следующими соотношениями:

$$1 \text{ сП} = 1,0193 \cdot 10^{-4} \text{ кгс/м}^2 = 0,01 \text{ П} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

$$1 \text{ П} = \text{дин} \cdot \text{с}/\text{см}^2 = 0,10193 \text{ кгс} \cdot \text{с}/\text{м}^2 = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$1 \text{ кгс} \cdot \text{с}/\text{м}^2 = 98,1 \text{ П} = 9810 \text{ сП} = 9,81 \text{ Па} \cdot \text{с} .$$

Кинематическая вязкость. В гидравлических расчетах обычно применяют отношение коэффициента динамической вязкости μ к плотности жидкости ρ , которое называется коэффициентом кинематической вязкости $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

В системе СИ единица измерения кинематической вязкости – квадратный метр в секунду ($\text{м}^2/\text{с}$).

В технической системе кинематическая вязкость выражается в $\text{см}^2/\text{с}$. Величина вязкости, равная $1 \text{ см}^2/\text{с}$, называется **стоксом (Ст). В технической практике получили распространение **сантискосы (сСт)**. Указанные единицы кинематической вязкости связаны соотношением:**

$$1 \text{ см}^2/\text{с} = \text{Ст} = 100 \text{ сСт}$$

$$1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$$

$$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10\,000 \text{ Ст} = 1\,000\,000 \text{ сСт}.$$

В технических характеристиках отечественных масел указывается (если отсутствуют специальные оговорки) кинематическая вязкость, выраженная в **сантискосах при температуре 50°С .**

Условные (относительные) единицы вязкости.

На практике обычно пользуются условными единицами вязкости, измеряемой с помощью **вискозиметров**. В отечественной промышленности **применяются единицы условной вязкости, выражаемые в градусах Энглера**.

Отношение времени истечения t под собственным весом 200см^3 жидкости при данной температуре через калиброванное отверстие определенного диаметра (2,8мм) к времени истечения $t_{\text{в}}$ из того же сосуда 200см^3 воды при 20°C выражает *вязкость жидкости в градусах Энглера*:

$$^\circ\text{E} = t/t_{\text{в}}$$

Пересчет условной вязкости в кинематическую и абсолютную производится по приближенным эмпирическим формулам или таблицам. Для применяемых в гидро-

системах масел *кинематическая* и условная вязкость в градусах Энглера связаны соотношением

$$\nu = 0,0731 {}^0E - \frac{0,0631}{{}^0E}, \text{ см}^2/\text{с}.$$

Абсолютная вязкость и условная вязкость в градусах Энглера связаны соотношением

$$\mu = 0,00065 {}^0E, \text{ П}$$

Зависимость вязкости от температуры.

С повышением температуры вязкость капельных жидкостей понижается. Чем меньше изменяется вязкость с изменением температуры, тем выше качество и эксплуатационные свойства рабочей жидкости. Одним из основных критериев этой зависимости является характеристика по застыванию, условно оценивающая потери подвижности частиц. При этом жидкость не

превращается в твердое тело.

На практике пользуются эмпирическими зависимостями вязкости от температуры (в основном графические).

Из применяемых в гидроприводах морозостойких минеральных масел **наиболее пологую вязкостную характеристику имеет масляная смесь АМГ-10**, вязкость которой изменяется в диапазоне температур $+600^{\circ}\text{C}$ – -600°C в пределах 8-2000 сСт. Еще более пологую характеристику имеют жидкости на основе кремнийорганических соединений, для которых минимальное значение вязкости в указанном диапазоне температур меньше максимального лишь в 40-50 раз.

Механическая и химическая стойкость жидкостей.

Для практических целей важно, чтобы рабочие жидкости в условиях применения и хранения не изменяли своих первоначальных физических и химических свойств, т.е. *сохраняли физическую и химическую стабильность.*

Основной *причиной* нарушения *физической стабильности* жидкости является *смятие* ее при работе в условиях **высоких давлений**, в особенности при дросселировании с большим перепадом давления, вызывающим молекулярно-структурные изменения (деструкцию) жидкости. В результате **вязкость жидкости может понизиться**, а ее смазывающие свойства **ухудшиться.**

Важным фактором является также *химическая*

стабильность жидкости, или стойкость к окислению, в результате которого происходит выпадение из нее отложений в виде смол, сопровождающееся понижением вязкости и потерей смазывающих качеств.

Воздействие жидкости на резиновые детали.

Важным параметром, характеризующим качество рабочих жидкостей для гидросистем, является степень воздействия их на применяемые материалы, в частности – на резиновые детали. **Усадка, набухание и размягчение резиновых деталей уплотнительных узлов под воздействием жидкости сопровождается нарушением герметичности и другими дефектами в работе гидроагрегатов.** Обычно требуется, чтобы твердость испытываемого резинового образца после воздействия минерального масла не изменялась больше чем на 4-5 единиц по Шору.

Давление (упругость) насыщенных паров и кавитация жидкости

Давлением или упругостью насыщенного пара жидкости называется установившееся в замкнутом пространстве в результате испарения жидкости при данной температуре давление пара, находящегося в равновесии с жидкостью. С повышением температуры это давление повышается.

Под кавитацией понимается местное выделение из жидкости газов и паров (вскипание жидкости) с последующим разрушением (конденсацией и смыканием) выделившихся парогазовых пузырьков, сопровождающимся местными гидравлическими микроударами высокой частоты и большими скачками давления.

Кавитация нарушает нормальный режим работы объемного насоса и в отдельных случаях разрушает его элементы.

Механизм такого действия упрощенно сводится к следующему. При понижении давления в какой-либо точке потока жидкости ниже давления насыщения ее паров при данной температуре жидкость вскипает (происходит ее разрыв) и выделившиеся пузырьки пара увлекаются потоком и переносятся в область более высокого давления, в которой они конденсируются. Т.к. процесс конденсации парового пузырька происходит практически мгновенно, частицы жидкости перемещаются к его центру с большой скоростью. В результате кинетическая энергия соударяющихся частиц жидкости вызывает при завершении конденсации (в момент смыкания пузырьков) местные гидравлические удары, сопровождающиеся резкими скачками давления и температуры в центрах конденсации. В результате происходит поверхностное разрушение (эрозия) деталей.

В результате кавитационного разрушения выход из строя аксиально-поршневых насосов происходит за время работы от 20 мин до 1 часа.

Кавитация в насосах наступает тогда, когда жидкость при ходе всасывания отрывается от рабочего элемента (вытеснителя) насоса (поршня, лопасти, зубьев шестерни). Возможность такого отрыва зависит от величины давления жидкости на входе в насос и его вязкости, от частоты вращения ротора, а также от конструктивных особенностей насоса.

С появлением кавитации подача насоса понижается, появляется характерный шум, происходит эмульсирование жидкости, а также наблюдаются резкие колебания давления в нагнетательной линии и ударные нагрузки на детали насоса.

1.2 Выбор рабочих жидкостей для гидросистемы

машины определяется:

- диапазоном рабочих температур;
- давлением в гидросистеме;
- скоростями движения исполнительных механизмов;
- конструкционными материалами и материалами уплотнений;
- особенностями эксплуатации машины (на открытом воздухе или в помещении и т.д.).

Диапазон рекомендуемых рабочих температур находят по **вязкостным характеристикам рабочих жидкостей**.

Верхний температурный предел для выбранной рабочей жидкости определяется допустимым увеличением утечек и снижением объемного КПД, а также прочностью пленки рабочей жидкости.

Нижний температурный предел определяется работоспособностью насоса, характеризующейся полным заполнением его рабочих камер или пределом прокачиваемости жидкости насосом.

При выборе величины вязкости рабочей жидкости необходимо учитывать ряд противоречивых факторов:

- 1) повышение вязкости рабочей жидкости упрощает герметизацию уплотнительных соединений;
- 2) повышение вязкости рабочей жидкости увеличивает механические потери, потери напора в каналах, ухудшает режим питания (всасывания) насосов, а также замедляет реакцию исполнительных механизмов на сигналы регулирования.

В общем случае для гидромашин, работающих с высокими давлениями, следует выбирать жидкости более высокой вязкости, чем для машин с более низкими давлениями.

Рекомендуется: для радиально-поршневых насосов с давлениями от 20МПа и выше и работающих в стабильных температурных условиях применять масла с вязкостью 60-150 сСт и для насосов с давлением до 10МПа – масла с вязкостью 30-60 сСт. Для **аксиально-поршневых насосов** обычно применяют менее (на 25-50%) вязкие масла, чем для радиально-поршневых.

Минеральные масла, применяемые в качестве рабочих жидкостей гидросистем, отличаются от минеральных смазочных (машинных) масел тем, что они содержат присадки, придающие им специфические свойства, отсутствующие у смазочных масел.

1.3 Требования к рабочим жидкостям

Рабочая жидкость гидросистем должна обладать:

- хорошими смазывающими свойствами;
- минимальной зависимостью вязкости от температуры в требуемом диапазоне температур;
- низкой упругостью насыщенных паров и высокой температурой кипения;
- нейтральностью к применяемым материалам, в частности к резиновым уплотнителям, и малым адсорбированием воздуха, а также легкостью его отделения;
- высокой устойчивостью к механической и химической деструкции и к окислению в условиях применяемых температур, а также длительным срокам службы;
- высоким объемным модулем упругости;

- высокими коэффициентом теплопроводности и удельной теплоемкости и малым коэффициентом теплового расширения;
- высокими изолирующими и диэлектрическими качествами; жидкость и продукты ее разложения не должны быть токсичными.