

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;

$\mu$  – 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  $\tau$  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  $1 \text{ см}^2$  и градиентом скорости  $1 \text{ см/с} \cdot \text{см}$ , составляет 1 дину. Вязкость воды при  $20^\circ\text{C}$  равна примерно 1П.

Для маловязких жидкостей  $\mu$  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  $\mu$  к плотности жидкости  $\rho$ , 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  $50^\circ\text{С}$ .**



## *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  $200\text{см}^3$  жидкости при данной температуре через калиброванное отверстие определенного диаметра (2,8мм) к времени истечения  $t_{\text{в}}$  из того же сосуда  $200\text{см}^3$  воды при  $20^\circ\text{C}$  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 +600С – -600С 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.