

Лекция №2. РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ

2.1. Назначение рабочих жидкостей и основные требования, предъявляемые к ним

Жидкость, используемая в гидроприводах, является их рабочим телом. Вследствие этого она и называется рабочей. Рабочая жидкость обеспечивает передачу энергии от насоса к гидродвигателю и управляющих сигналов в гидросистеме. Кроме того, она обеспечивает смазку трущихся поверхностей гидравлических устройств, удаление из пар трения продуктов износа, защиту металлических деталей от коррозии и отвод выделяемого в гидроприводе тепла.

Рабочие жидкости подвержены воздействию изменяющихся в широком диапазоне давлений, температур и скоростей. Правильный выбор рабочей жидкости обеспечивает работоспособность гидропривода и в значительной степени определяет его рабочие параметры.

К рабочей жидкости предъявляются следующие требования.

1. Хорошая смазывающая способность, обеспечивающая надежную работу пар трения.
2. Возможно малое изменение вязкости в широком диапазоне температур, что определяет и малую изменяемость характеристик гидроустройств и гидропривода в целом.
3. Высокая пожаростойкость.
4. Стабильность механических и химических свойств в условиях длительной эксплуатации и хранения. Под стабильностью механических свойств понимают в первую очередь способность жидкости противостоять процессу «мятия», которым называют процесс деструкции молекул при ее длительном дросселировании в узких щелях, перемешивании жидкости и воздействии вибраций, что приводит к уменьшению вязкости. Под стабильностью химических свойств понимают способность противостоять окислению под действием окружающей среды и реакции гидролиза из-за присутствия в жидкости воды, а также химической реакции жидкости с материалами стенок переустройств и уплотнений.
5. Малая токсичность рабочей жидкости и ее паров.
6. Высокая объемная упругость.
7. Высокая теплопроводность.
8. Малый коэффициент теплового расширения.
9. Радиационная стойкость.
10. Сопrotивляемость вспениванию.
11. Малая растворимость газов, обеспечивающая высокую упругость жидкости.
12. Низкая стоимость.

Перечисленные требования во многом трудно совместимы. Поэтому выбор рабочей жидкости представляет собой определенную сложность.

2.2. Основные физические свойства рабочих жидкостей

Из многочисленных свойств жидкостей остановимся только на тех, которые наиболее важны с точки зрения эксплуатации гидроприводов, определяют их рабочие параметры и которые необходимо учитывать разработчику. Эти свойства определяются перечисленными выше

требованиями.

Плотность, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$, характеризуется отношением массы m жидкости к ее объему

$$\rho = m / V . \quad (2.1)$$

Для практических расчетов плотность минеральных рабочих жидкостей может быть принята $\rho = 900 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Плотность рабочей жидкости характеризует потери давления при ее течении через дроссели, клапаны и гидролинии. Так, при турбулентном режиме течения

$$\Delta p = \frac{\rho Q^2}{2 \mu^2 f^2},$$

где Q — расход жидкости;

Δp — потери давления;

μ — коэффициент расхода щели площадью f

С ростом температуры плотность уменьшается

$$\rho_t = \frac{\rho_{t_0}}{1 + \alpha(t - t_0)},$$

где ρ_t , ρ_{t_0} — соответственно плотности при температурах t и t_0 , α — коэффициент объемного расширения. Для минеральных рабочих жидкостей $\alpha \approx (7-8) \cdot 10^{-4}$ при $t - t_0 = 1^\circ\text{C}$. Это свойство необходимо учитывать при проектировании гидропривода с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости. В таком приводе при увеличении температуры происходит увеличение объема и повышение давления, которое может привести к разрушению гидросистемы. Чтобы избежать этого, к гидробаку присоединяют термокомпенсатор, например, сильфонного типа. Изменение его объема должно быть достаточным для компенсации теплового расширения рабочей жидкости во всей гидросистеме.

1) **Вязкость** — свойство жидкости оказывать сопротивление относительному смещению ее слоев. Это свойство является важнейшим для работы гидропривода.

Влияние вязкости неоднозначно. С одной стороны большая вязкость повышает надежность смазки трущихся поверхностей, уменьшает утечки в гидроустройствах и способствует повышению устойчивости гидропривода. С другой стороны — увеличивает потери на трение, увеличивает гидравлическое сопротивление в гидродинамиках и уменьшает быстродействие привода.

Вязкость жидкости характеризуется коэффициентами динамической и кинематической

вязкости. Коэффициент динамической вязкости, $Па \cdot с$, определяется из уравнения, выражающего закон жидкостного трения Ньютона:

$$\mu = \frac{T}{S} \cdot \frac{1}{dv/dy}, \quad (2.3)$$

где T — сила, возникающая между движущимися слоями жидкости;

S — площадь соприкосновения поверхностей слоев;

dv/dy — градиент скорости.

Коэффициент кинематической вязкости ν , $м^2 \cdot с^{-1}$, определяется соотношением

$$\nu = \mu / \rho \quad (2.4)$$

Он измеряется и в стоксах (Ст)

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

Ввиду того, что непосредственно измерить вязкость в движущейся жидкости сложно, определяют условную вязкость с помощью специальных приборов, называемых вискозиметрами. Наибольшее применение нашел вискозиметр Энглера, измеряющий вязкость как отношение времени истечения 200 см^3 жидкости через отверстие диаметром 2,8 мм под действием собственного веса к времени истечения такого же объема дистиллированной воды при температуре $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Единица вязкости, определенной таким способом, называется градусом вязкости условной ($^\circ\text{ВУ}$). В некоторых странах эта единица называется градусом Энглера ($^\circ\text{Е}$).

Перевод $^\circ\text{ВУ}$ в сСт при $^\circ\text{ВУ} > 3,2$ выполняют по формуле

$$\nu = 7.31 \text{ }^\circ\text{ВУ} - 6.31 / \text{ }^\circ\text{ВУ}, \text{ сСт}. \quad (2.5)$$

Вязкость рабочей жидкости существенно зависит от ее температуры. Для минеральных масел это влияние может, быть определено эмпирической зависимостью

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n, \quad (2.6)$$

где ν_{50} — вязкость при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$;

t — температура.

Эта зависимость справедлива в интервале температур $30 < t^\circ\text{C} < 150$. Для масел с $\nu \leq 10 \text{ сСт}$ $n \approx 2.5$, в интервале $\nu = 10 - 50 \text{ сСт}$ $n = 2.6 - 3.2$.

Зависимость вязкости от давления p может быть представлена в следующем виде:

$$\mu = \mu_0 e^{\alpha p}, \quad (2.7)$$

где μ_0 — коэффициент динамической вязкости при $p=0$;

$\alpha = 0,15 - 0,17 \text{ МПа}^{-1}$ пьезокоэффициент вязкости.

Выражение (2.7) справедливо при $p < 60 \text{ МПа}$.

Наличие в рабочей жидкости воздуха приводит к некоторому снижению вязкости

$$\frac{\mu_B}{\mu_0} = 1 + 0.015B, \quad (2.8)$$

где μ_0 — вязкость чистой жидкости;

μ_B — вязкость рабочей жидкости, содержащей В% воздуха от общего объема.

2) **Сжимаемость** — свойство жидкости изменять свой объем под действием давления. Сжимаемость рабочей жидкости должна быть минимальной, так как ее наличие приводит к снижению подачи насосов, нарушает плавность движения перемещаемых гидроприводом узлов машин, уменьшает точность реализации перемещений, снижает устойчивость гидропривода.

Сжимаемость, Па^{-1} , характеризуется коэффициентом объемного сжатия

$$\beta = \frac{\Delta V}{V \Delta p}, \quad (2.9).$$

где $\Delta V / V$ — относительное изменение объема при изменении давления на Δp .

Величина, обратная β , называется модулем объемной упругости жидкости, Па :

$$E = \frac{1}{\beta},$$

Для минеральных масел модуль объемной упругости лежит в пределах $E = (1.35 - 1.75) \cdot 10^3 \text{ МПа}$. Трубопроводы и особенно шланги уменьшают «приведенный» модуль упругости.

Процесс сжатия рабочей жидкости может проходить с различной скоростью. Сжатие при медленно протекающих процессах, при которых успевает завершиться теплообмен с окружающей средой, характеризуется изотермическим модулем упругости E_t . Сжатие при быстро протекающих процессах, при которых теплообмен не успевает завершиться, характеризуется адиабатическим модулем упругости E_a . Экспериментальный метод определения этого модуля основан на замере скорости распространения звуковых волн в жидкости

$$E_a = \rho \cdot a^2, \quad (2.10)$$

где a — скорость звука в жидкости.

Установлено, что при расчете быстропротекающих процессов в гидроприводе можно принимать $E_a \sim 1,15 E_t$.

Модуль объемной упругости зависит от давления и температуры. Упругость увеличивается с повышением давления и уменьшается с ростом температуры

$$E = E_0 + k_1 p - k_2 (t - t_0), \quad (2.11)$$

где E_0 — модуль объемной упругости без наличия в жидкости газовой среды при $t_0 = 20^\circ\text{C}$, $p = 0,1 \text{ МПа}$; $k_1 = 11 - 15$, $k_2 = 7 - 9,5 \text{ МПа}/^\circ\text{C}$.

Большое влияние на сжимаемость рабочей жидкости оказывает наличие в ней нерастворенного воздуха в виде мелких пузырьков. Сжимаемость в этом случае во много раз выше сжимаемости чистой жидкости.

Рассмотрим это влияние в условиях изотермического процесса сжатия. Нерастворенный воздух в объеме V_B образует с объемом чистой жидкости $V_{ж}$ двухфазную смесь

$$V_c = V_{ж} + V_{в}. \quad (2.12)$$

Продифференцировав (2.12) по давлению p и предположив, что закон сжатия смеси имеет тот же характер, что и для чистой жидкости, а закон сжатия воздуха подчиняется закону Бойля—Мариотта $pV^n = \text{const}$, имеем

$$-\frac{V_c}{E_c} = -\frac{V_{ж}}{E_{ж}} - V_{в0} \frac{p_0}{p^2}, \quad (2.13)$$

где E_c , $E_{ж}$ — модули объемной упругости смеси и чистой жидкости;

$V_{в0}$ — объем воздуха в смеси при атмосферном давлении p_0 . При изотермическом процессе сжатия $n = 1$.

Из (2.13) и (2.12) получим

$$E_c = E_{ж} \frac{V_{ж} + V_{в}}{V_{ж} + E_{ж} \frac{V_{в0} p_0}{p^2}} \quad (2.14).$$

Разделив правую часть (2.14) на начальный объем жидкости в смеси $V_{ж0}$, положив $V_{ж0} = V_{ж}$ и подставив $V_{в} = V_{в0} \frac{p_0}{p}$, имеем

$$E_c = E_{ж} \frac{1 + \frac{V_{в0}}{V_{ж0}} \cdot \frac{p_0}{p}}{1 + E_{ж} \frac{V_{в0} p_0}{V_{ж0} p^2}} \quad (2.15)$$

В реальных системах содержание воздуха может меняться в широких пределах ($V_{в0}/V_{ж0} = 0,015 — 0,025$). Зависимость модуля объемной упругости от давления рабочей жидкости при различном содержании воздуха представлена на рисунке 2.1. Как видно из рисунка, влияние давления проявляется в большей степени при малых его значениях. Для устранения этой зоны в сливных гидролиниях гидроприводов должны быть установлены напорные клапаны, создающие подпор порядка 0,5—1 МПа. Благодаря этому уменьшается сжимаемость рабочей жидкости в сливных полостях гидродвигателей и повышается плавность движения рабочих органов машин, особенно при использовании гидроцилиндров.

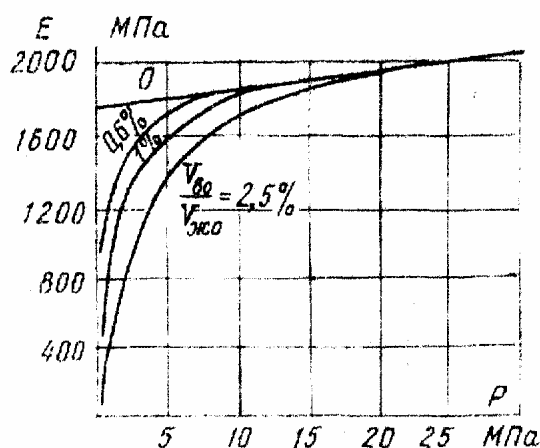


Рисунок 2.1 — Зависимость модуля объемной упругости реальной жидкости от давления

При давлении более 15 МПа влияние воздуха на сжимаемость практически не сказывается, так как он переходит в растворенное состояние. Это обстоятельство также обуславливает полезность перехода на более высокие давления рабочей жидкости в напорных гидролиниях приводов.

Для снижения количества нерастворенного воздуха необходимо знать основные пути его проникновения в гидросистему. Наиболее интенсивно подсос воздуха происходит на линии всасывания через неплотности в местах крепления фланцев насоса и приемных фильтров, через уплотнения валов и т. п. Подсос воздуха происходит также при понижении уровня жидкости в гидробаке по отношению к всасывающему патрубку. Нерастворенный воздух может образовываться из растворенного на участках с пониженным давлением. При этом обратный процесс протекает значительно медленнее.

Измерение количества нерастворенного воздуха проводится либо путем измерения объемов жидкости до и после его отделения, либо путем измерения некоторых свойств рабочей жидкости (плотности, модуля упругости и т. п.), зависящих от его количества.

Количество воздуха в гидросистеме может быть понижено путем применения эластичных диафрагм, исключающих контакт воздуха с жидкостью в гидробаках или путем создания подпора во всасывающей гидролинии. Удаление воздуха в тупиковых гидросистемах и в верхних точках гидроустройств проводят с помощью воздушспускных пробок (сапунов) или клапанов.

3) **Тепловые свойства.** Наибольший интерес представляют удельная теплоемкость и теплопроводность. Удельная теплоемкость характеризует интенсивность повышения температуры рабочей жидкости в гидросистеме. По сравнению с водой удельная теплоемкость минеральных масел вдвое меньше. Теплопроводность характеризует количество теплоты, переданное за единицу времени через единицу поверхности при разности температур между жидкостью и стенкой в один градус. Для лучшего отвода тепла рабочие жидкости должны иметь высокие тепловые свойства.

Температурный диапазон использования рабочих жидкостей связан с температурами вспышки и застывания. Температура вспышки – есть температура, при которой пары жидкости образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении открытого пламени. Температура вспышки позволяет судить о пожарной безопасности гидросистем. Температура застывания — температура, при которой рабочая жидкость загустевает настолько, что при наклоне пробирки на 45° ее уровень в течение 1 мин остается неизменным. Для наиболее распространенных промышленных масел температура вспышки составляет 160—200°C, а температура застывания — 30 — 15 °C.

4) **Электрические свойства** имеют значение для рабочих жидкостей, применяемых в электрогидравлических устройствах гидроприводов. Чтобы избежать замыкания электрических цепей, нарушения изоляции и искрения в результате возможного попадания рабочей жидкости, ее электрическая проводимость должна быть минимальной.

2.3. Характеристики рабочих жидкостей

Основным видом рабочих жидкостей, получивших наибольшее применение, являются

минеральные масла.

В гидроприводах общепромышленного назначения, работающих в отапливаемых помещениях при температуре воздуха от 0 до -35°C применяются индустриальные масла И12А, И20А, И30А, И40А, И50А. Цифра в обозначении масла указывает на его вязкость в сантистоксах при $t = 50^{\circ}\text{C}$. Индустриальные масла самые дешевые, нетоксичны, так как не содержат присадок. Однако, с другой стороны, они имеют повышенную склонность к окислению и выделению смол, в силу, чего срок их службы сильно ограничен. Индустриальные масла применяют в гидросистемах, работающих, при температуре жидкости не выше 60°C .

В гидроприводах, работающих при температуре свыше 60°C , применяются турбинные масла Тп—22, Тп—30, Тп—46, отличающиеся от индустриальных более высокими эксплуатационными свойствами (антиокислительная и смазывающая способности, противопенная стойкость, повышенный срок службы). Такие свойства обеспечиваются введением различного вида присадок (фенолов, жирных кислот, полисилоксанов и др.).

Гидроприводы, работающие при давлении 16—35 МПа, рекомендуется эксплуатировать на маслах серии ИГП, имеющих еще более высокие эксплуатационные свойства.

В гидроприводах, установленных на машинах, работающих в полевых условиях, применяются масла, имеющие меньшую зависимость вязкости от температуры. Среди них всесезонное масло МГЕ—10А, рассчитанное на эксплуатацию без замены в течение 10-ти лет при температуре окружающей среды от -55 до $+50^{\circ}\text{C}$. Масло ВМГЗ является основным видом рабочей жидкости для гидроприводов строительно-дорожных машин, работающих в условиях крайнего севера, а также используется как зимний сорт в районах умеренного климата. Масло МГ—30 используется в аналогичных гидроприводах в качестве летнего масла.

В авиационных гидросистемах дозвуковых самолетов применяется авиационное масло АМГ—10, которое легко отличить по красноватому цвету.

Минеральные масла имеют ограниченный температурный диапазон применения. Верхний предел обычно не превышает 80 — 90°C . Кроме того, они пожароопасны. Эти недостатки в меньшей степени проявляются у *синтетических рабочих жидкостей*. Они имеют более пологую температурно-вязкостную характеристику, обладают большей огнестойкостью. К ним относятся диэфиры, фосфаты, силоксаны, водно-гликолевые и водно-глицериновые жидкости. Из этого класса рабочих жидкостей можно назвать жидкость 7—50С—3, применяемую в авиационных гидросистемах, работающих в диапазоне температур от -60° до $+175^{\circ}\text{C}$. Недостатками синтетических жидкостей являются высокая стоимость, плохие смазывающие свойства и необходимость перехода на специальные материалы для уплотнений.

Другим видом рабочих жидкостей являются *водосодержащие эмульсии*. Они имеют низкую стоимость, малую сжимаемость, более высокую теплоемкость, жаростойки. В гидроприводах кузнечнопрессовых машин используются эмульсии «масло в воде», в которых 2—5% эмульсола, содержащего минеральное масло, и 95 — 98% воды. Эмульсол находится в воде в дисперсной фазе.

Недостатками таких жидкостей являются низкая смазывающая способность, высокая коррозионная активность и невозможность использования при отрицательных температурах. Более перспективна эмульсия «вода в масле», содержание воды в которой около 40%. Она сочетает положительные свойства эмульсий «масло в воде» и минеральных масел. Но пока широкого применения водосодержащие рабочие жидкости не получили, так как переход на них приводит к увеличению примерно в 1,5—5 раз стоимости отдельных гидроустройств и увеличению потребляемой насосами мощности примерно в 1,5 раза. В настоящее время они применяются в гидросистемах, для которых вопросы пожаробезопасности особо важны, например в шахтном и металлургическом оборудовании.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему работоспособность и характеристики гидропривода зависят от вида рабочей жидкости?
2. В каких гидроприводах и с какой целью применяют термокомпенсаторы?
3. Какие свойства рабочих жидкостей зависят от температуры?
4. Почему рабочие жидкости должны обладать хорошей смазывающей способностью?
5. Какие недостатки связаны с использованием в гидроприводах рабочих жидкостей малой вязкости?
6. В чем преимущество измерения вязкости в градусах вязкости условной в сравнении с измерением в Паскаль-секундах и сантистоксах, и как оно проводится?
7. Какой модуль объемной упругости рабочей жидкости должен учитываться в динамических расчетах гидроприводов?
8. Какие свойства рабочей жидкости зависят от давления?
9. С какой целью и каким путем можно уменьшить количество нерастворенного воздуха в гидросистеме?
10. Какова причина установки подпорных клапанов в сливных гидролиниях гидромашин?
11. Какие проблемы решает применение в гидроприводах водосодержащих рабочих жидкостей?
12. Какие причины вызвали создание синтетических рабочих жидкостей и в чем их недостатки?