

к финансовым или материальным ресурсам, а умением менеджмента использовать человеческий потенциал, что обеспечивает высокую эффективность организации, ее ключевые компетенции, обеспечивающие конкурентные преимущества на рынке.

## **АНАЛИЗ СВОЙСТВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГИДРОСИСТЕМАХ ВС**

**В.А. Загорский, А.Н. Бычков**

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.

Наиболее часто удовлетворяют требованиям, предъявляемым к рабочей жидкости, минеральные масла нефтяного происхождения, представляющие собой жидкие дистиллаты, загущенные парафином, церезином и другими твердыми углеводородами. Для специальных гидроприводов применяются также синтетические жидкости на основе органических и кремнийорганических соединений. Основными показателями для оценки качества рабочей жидкости служит вязкостно-температурные ее свойства, химическая и физическая стабильность, агрессивность по отношению к резиновым уплотнительным деталям и смазочная способность.

**Вязкость жидкости.** Вязкость рабочей жидкости, под которой понимается свойство оказывать сопротивление деформации сдвига, является одной из наиболее важных характеристик для расчета и проектирования гидросистем и их эксплуатации. От вязкости жидкости зависят механические потери при работе насоса, возможность работы гидросистемы при низких и высоких температурах.

Для маловязких жидкостей абсолютную вязкость  $\mu$  обычно выражают в сантипаузах (СП).

Коэффициенты динамической вязкости связаны следующими соотношениями:

$$1\hat{e}\tilde{a}\tilde{n} \cdot \tilde{n} / \hat{i}^3 = 98,1\hat{I} = 9810 \tilde{n}\hat{I}$$

$$1\hat{I} = \hat{a}\hat{e}\hat{i} \cdot \tilde{n} / \tilde{n}^2 = 0,010193 \hat{e}\tilde{a}\tilde{n} \cdot \tilde{n} / \hat{i}^2$$

$$1\tilde{n}\hat{I} = 1,0193 \cdot 10^{-4} \hat{e}\tilde{a}\tilde{n} \cdot \tilde{n} / \hat{i}^2 = 0,01 \hat{I}$$

В системе СИ коэффициент динамической вязкости выражается в  $H \cdot c / m^2$ .

В гидравлических расчетах обычно применяют отношение коэффициента динамической вязкости  $\mu$  к плотности  $\rho$  жидкости, которые обозначаются коэффициентом кинематической вязкости  $\nu = \frac{\mu}{\rho} [m^2 / c]$ .

В технических характеристиках отечественных масел указывается (если существуют специальные оговорки) кинематическая вязкость, выраженная в сантистоксах при температуре 50°C.

Таблица 1. Кинематическая вязкость жидкостей

Кинематическая вязкость (сСт) при	АМГ-10	7-50С-3	ХС-2-1	НГЖ-4
t=+20С	20-23	22-24,42	41,60-43,70	20,53
t=+50С	10-11,3	9,78-10,51	20,98-22,70	9,14

При выборе вязкости рабочей жидкости для гидросистем приходится учитывать ряд противоречивых факторов. С точки зрения упрощения герметизации уплотнительных соединений, и в особенности без применения эластичных уплотнительных средств, вязкость должна быть возможно высокой. Однако повышение вязкость увеличивает механические потери при движении узлов гидравлических маши и потери напора в их каналах, а также ухудшает режим питания (всасывания) насоса. Повышение вязкости жидкости замедляет реакцию исполнительных механизмов на сигналы регулирования (задающих устройств).

В общем случае для гидромашин, работающих с высокими давлениями. Следует выбирать жидкости более высокой вязкости, чем для машин с более низким давлением.

Для радиально-поршневых насосов с давлением 20 МПа ( $200 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ) и выше и работающих в стабильных температурных условиях применять масла с вязкостью  $\nu = 60 \div 150 \text{ сСт}$  и для насосов с давлением до 10 МПа ( $100 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ) масла с вязкостью  $\nu = 30 \div 60 \text{ сСт}$ , причем для аксиально-поршневых насосов обычно применяются менее (на 20-25%) вязкие масла, чем для радиально-поршневых.

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 засасыванию, условно оценивающая потери подвижности частиц. При этом жидкость (масло) не превращается в твердое тело.

Из применяемых в гидросистемах морозостойких минеральных масел наиболее пологую вязкостную характеристику имеет масляная смесь АМГ-10. вязкость которой изменяется в диапазоне температур  $\pm 60$  в пределах 8-2000 сСт. Еще более пологую характеристику имеют жидкости на основе кремнийорганических соединений, для которых минимальное значение вязкости в указанном диапазоне температуры меньше максимального лишь в 40-50 раз.

При применении жидкостей, имеющих крупную кривую температурной зависимости вязкости, затрудняется работа гидросистемы в зимних условиях. Это обусловлено в основном тем, что при повышении вязкости жидкости при низких температурах выше допустимых значений ухудшается ее прокачиваемость в магистралях и засасывание при открытых баках насосами.

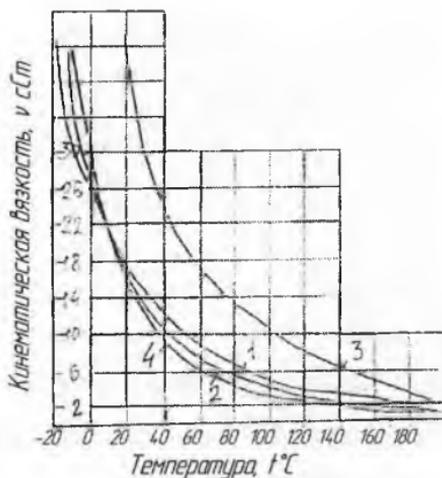


Рис. 1. Зависимость кинематической вязкости от температуры 1-АМГ-10; 2-7-50С-3;3-ХС-2-1; 4-НГЖ-4

Для оценки влияния температуры на вязкость рабочей жидкости (масла) в практике используются понятием индекса вязкости, характеризующим соотношение вязкостей масел в некотором температурном интервале (например, от 0С до 100С или от 50С до 100С). Таким образом, индекс вязкости является относительной величиной, показывающей степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры, т.е. характеризующий пологость температурный кривой вязкости (чем ниже индекс вязкости, тем более пологая кривая вязкости).

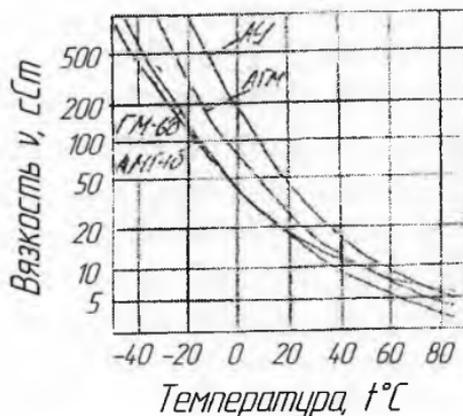


Рис. 2. Степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры

**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 давления пара, находящегося в равновесии с жидкостью. С повышением температуры это давление повышается.

В практике пользуются экспериментальными данными по упругости насыщенных паров. На рисунке приведена зависимость давления  $P_n$  насыщенных паров некоторых сортов минеральных масел. Применяющихся гидросистемах машин, от температуры  $t$  масла.

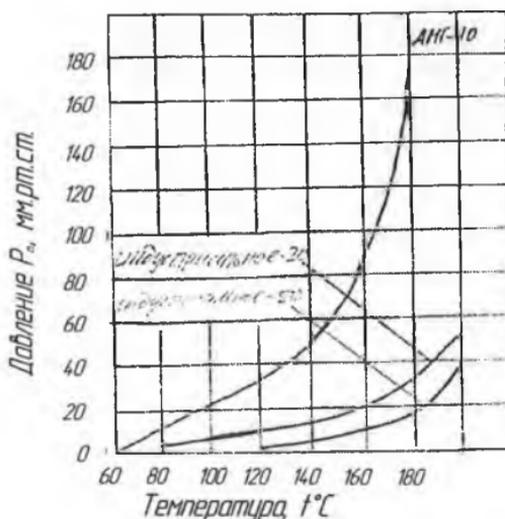


Рис. 3. Давление насыщенных паров от температуры масла

В непосредственной связи с упругостью насыщенных паров жидкости находится кавитация, под которой понимается местное выделение из жидкости газов и паров (вскипание жидкости) с последующим разрушением (конденсацией и смыканием) выделившихся парогазовых пузырьков, сопровождающихся местными гидравлическими микро-ударами высокой частоты и большими «забросами» давления. В гидравлических приводах кавитация носит динамический характер и происходит в отдельных местах гидродинамического поля, где растягивающие напряжения достигают своего критического

значения парообразования. К примеру, кавитацию можно наблюдать и насадках. Вблизи вибрирующих тел, в рабочих камерах насосов при быстром движении замыкателей (поршней) и пр.

Кавитация повышает нормальный режим работы объемного насоса, в отдельных случаях оказывает разрушительное действие на его элементы. Механизм такого действия упрощенно сводится к следующему. При понижении давления в какой-либо точке потока жидкости ниже давления насыщенных 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 (смыкаются). Так как процесс конденсации парового пузырька происходит 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 «забросами» давления и температуры в центрах конденсации. Если эти процессы протекают вблизи ограничивающих стенок каналов, то последние будут подвергаться со стороны движущихся частиц жидкости непрерывным гидравлическим микро-ударом («бомбардировкам»). В результате при длительной кавитации, под действием указанных гидравлических ударов и одновременном воздействии высокой температуры, развивающейся в центрах конденсации, происходит поверхностное разрушение (эрозия) деталей.

Наблюдаются случаи выхода из строя аксиально-поршневых насосов в результате кавитационного разрушения распределительной пары, что сопровождается недопустимым падением подачи, которое происходит за время работы от 20 мин до часа.

Кавитация в насосах наступает тогда, когда жидкость при ходе всасывания отрывается от рабочего элемента насоса (поршня, лопасти, зубьев шестерни), возможность такого отрыва зависит от величины давления жидкости на входе в насос и его вязкости, от частоты вращения насоса, а также от конструктивных его особенностей. Например, подобное явление наблюдается, если давление на входе во всасывающую камеру насоса окажется недостаточным для того, что-

бы обеспечить неразрывность потока жидкости в процессе изменения скорости ее движения в соответствии с изменением скорости движения (ускорением) всасывающего элемента (вытеснителя). Предельно допустимой, с точки зрения, частотой вращения насоса является такая, при которой абсолютное давление жидкости на входе в насос будет преодолевать без разрыва потока сумму потерь на всем пути от входа до рабочего элемента. Для шестеренного и пластинчатого насосов к этим внутренним потерям добавляются потери, обусловленные центробежной силой.

Очевидно, для того чтобы жидкость приобрела в рабочей камере насоса (в цилиндре и пр.) необходимое ускорение, требуемое для предотвращения отрыва ее от всасывающего элемента (поршня и пр.), к ней необходимо приложить соответствующее давление.

С появлением кавитации подача насоса понижается, появляется характерный шум, происходит эмульсирование жидкости, а также наблюдается резкие колебания давления в нагнетательной линии и ударные нагрузки на детали насоса, вызывающие преждевременный выход его из строя.

**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. сохранять физическую и химическую стабильность.

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

Потери вязкости особенно сильно проявляются в масляных смесях типа АМГ-10, содержащих вязкостные добавки (загустители), состоящие из длинных углеводородных цепочек. Эти цепочки при длительном мятии, в частности при многократном продавливании жидкости под высоким давлением через малые зазоры, могут разрушаться. Происходит как бы постепенное «перемалывание» высоко-

молекулярного загустителя, в результате чего вязкость жидкости может понизиться до недопустимого значения.

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.

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 сопровождаются нарушением герметичности и другими дефектами в работе гидроагрегатов. При длительном контакте рабочей жидкости с резиновыми деталями происходит сложный физико-химический процесс вымывания отдельных компонентов резины и замещения их жидкостью. При этом изменяется масса и объем резиновой детали и физико-химических свойств резины.

Особо следует отметить влияние на резину синтетических жидкостей. Одни из которых вызывают либо чрезмерное набухание уплотнительного материала, либо, наоборот, значительную его усадку.

**Вязкость применяемых жидкостей и рабочие давления.** В гидросистемах машин обычно применяют жидкости минерального происхождения с диапазоном вязкости при 50С примерно 10-175сСт. 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. Так, для обеспечения минимальной зависимости вязкости от температуры применяют вязкостные присадки.

При выборе величины вязкости при (равных условиях), обычно выбирают более высокую вязкость. Так, в гидросистемах машин, предназначенных для работы в стабильных температурных условиях при давлениях менее 10 МПа ( $100\text{кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ) обычно применяют масла вязкостью сСт (при 50С), а при давлении до 20 МПа ( $200\text{кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ) – вязкостью 40-6 сСт.

В авиационных гидросистемах распространена жидкость АМГ-10 (ГОСТ 6794-53), являющаяся смесью двух нефтяных фракций высокой степени очистки. Она пригодна для эксплуатации при температурах от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Кинематическая вязкость ее в диапазоне температур от  $\pm 50$  с колеблется от 10 до  $1250 \text{ сСт}$ .

**Высокотемпературные жидкости.** Гидросистемы ряда машин и установок работают при высоких температурах, достигающих  $300^{\circ}\text{C}$  и выше. Помимо этого, гидросистемы во многих случаях применения используются в широком диапазоне температур. Так, для гидросистем жидкостно-реактивных двигателей этот диапазон изменяется от  $-183^{\circ}\text{C}$  (температура жидкого кислорода) до  $+320^{\circ}\text{C}$  и выше.

Применяемые в настоящее время в гидросистемах минеральные масла и их смеси не удовлетворяют требованиям по плюсовым температурам (даже без учета отрицательных температур), так как лучшие из минеральных жидкостей пригодны для длительной работы при температурах не выше  $150^{\circ}\text{C}$ .

Ввиду этого при высоких температурах ( $150^{\circ}\text{C}$  и выше) можно применять лишь синтетические жидкости и в частности полисилоксановые (силиконовые), которые сочетают в себе высокотемпературные и низкотемпературные свойства. В контакте с воздухом они выдерживают длительное нагревание при температуре до  $250^{\circ}\text{C}$ , в закрытых же системах их можно длительно использовать при температуре до  $370^{\circ}\text{C}$ . Одновременно жидкости пригодны для эксплуатации при температурах  $-60^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Однако все синтетические жидкости. В том числе и полисилоксановые, имеют более низкий модуль упругости. Чем у минеральных масел, применяемых в гидросистемах. Кроме того, модель упругости синтетических жидкостей в большей степени зависит от температуры, чем у минеральных жидкостей. Полисилоксаны значительно уступают минеральным маслам также по противоизносным и смазывающим свойствам. Как и все синтетические жидкости, они имеют высокую текучесть, усложняющую герметизацию гидроагрегатов.

**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 сроком службы;
- высоким объемным модулем упругости;
- высокими коэффициентами теплопроводности и удельной теплоемкости и малым коэффициентом теплового расширения;
- высокими изолирующими и диэлектрическими качествами;
- жидкость и продукты ее разложения не должны быть токсичными.

Важными параметрами характеристики жидкости являются температуры застывания и замерзания.

Температурой застывания по ГОСТу 1929-51 называют такую температуру, при которой поверхность уровня масла, залитого в пробирку, не перемещается в течение 5 минут при наклоне на 45°. Температура застывания масла должна быть на 10-17°С ниже наименьшей температуры окружающей среды, в условиях которой будет работать гидросистема.

Температурой замерзания называют температуру начала кристаллизации, т.е. температуру, при которой в жидкости образуется облачко из мельчайших кристаллов. При этом не должно быть расслаивания жидкости и выделения из нее составных компонентов.

#### **Библиографический список**

1. Гидравлика [Текст]: Учеб. пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Каргапов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высш. шк., 2007. – 199с.: ил.