Ю. Ю. Старчик
А. В. Картыгин

ГИДРО ПНЕВМО ПРИВОД

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

«Инфра-Инженерия»

УДК 62-82
ББК 34.447
С77

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры эксплуатации судовых механических установок
ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова»
Туркин Владимир Антонович;

доктор технических наук, доцент кафедры технических дисциплин
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова» (Новороссийский филиал)
Ермоленко Георгий Юрьевич

Старчик, Ю. Ю.

С77 Гидропневмопривод. Теория и практика : учебное пособие / Ю. Ю. Старчик, А. В. Картыгин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 196 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1020-5

Дана общая характеристика гидропривода. Рассмотрены источники гидравлической энергии объемных гидроприводов. Приведена классификация гидроаппаратуры. Изложены особенности пневматического привода, его достоинства и недостатки.

Для студентов технических вузов, в т. ч. обучающихся по специальностям 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» и направлений подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Может быть полезно мастерам и механикам предприятий, занимающихся эксплуатацией и ремонтом механического оборудования с гидравлическим приводом.

УДК 62-82
ББК 34.447

ISBN 978-5-9729-1020-5

© Старчик Ю. Ю., Картыгин А. В., 2022
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОПРИВОДА 7
1.1. Структурная схема гидропривода. Преимущества и недостатки 7

2. РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ 11
2.1. Назначение 11
2.2. Требования к рабочим жидкостям 11
2.3. Применяемые жидкости 12
2.4. Основные физические свойства и показатели рабочих жидкостей 13
2.5. Восстановление свойств 22
2.6. Маркировка рабочих жидкостей 23
2.7. Выбор рабочих жидкостей 24

3. ИСТОЧНИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ 26
3.1. Величины, характеризующие рабочий процесс объемных насосов 26
3.2. Общие и отличительные свойства объемных насосов 27
3.3. Графики подач и скоростей поршневого насоса 29
3.4. Индикаторная диаграмма поршневого насоса 31
3.5. Высота всасывания поршневого насоса 32
3.6. Возвратно-поступательные насосы 33
3.7. Особенности конструкций роторных насосов 36
3.8. Аксиально-поршневые насосы 36
3.9. Радиально-поршневые насосы 40
3.10. Пластинчатые (шиберные, лопастные) насосы 43
3.11. Шестеренные насосы 45
3.12. Винтовые насосы 49

4. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ 51
4.1. Определение и классификация 51
4.2. Гидроцилиндры 51
4.3. Поворотные гидродвигатели 55
4.4. Гидромоторы 56

5. КОНДИЦИОНЕРЫ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ 60
5.1. Общие сведения 60
5.2. Фильтры 61
5.3. Сепараторы 64
5.4. Теплообменники 67
5.5. Воздухоотделители 68

6. ГИДРОЕМКОСТИ ... 70
6.1. Гидробаки ... 70
6.2. Гидроаккумуляторы ... 73

7. ГИДРОЛИНИИ И СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА ... 77
7.1. Общие сведения ... 77
7.2. Жесткие трубопроводы ... 77
7.3. Гибкие трубопроводы ... 82

8. ГИДРОАППАРАТУРА ... 87
8.1. Общие сведения. Классификация ... 87
8.2. Золотники ... 88
8.2.1. Золотники с прямолинейным движением плунжера ... 88
8.2.2. Золотники с поворотным движением плунжера ... 90
8.2.3. Золотники с плоским распределительным элементом ... 91
8.3. Клапаны ... 92
8.3.1. Общие сведения ... 92
8.3.2. Конструктивные типы клапанов ... 92
8.3.3. Обратные (невозвратные) клапаны ... 98
8.3.4. Предохранительные клапаны ... 100
8.3.5. Переливные клапаны ... 101
8.3.6. Гидрозамки ... 102
8.3.7. Редукционные клапаны ... 104
8.3.8. Клапаны последовательного включения и отключения ... 106
8.4. Гидродроссели ... 107
8.4.1. Гидродроссели, построенные по принципу использования сопротивления трения ... 107
8.4.2. Гидродроссели, построенные по принципу использования местных сопротивлений ... 108
8.5. Гидрораспределители ... 111
8.5.1. Общие сведения ... 111
8.5.2. Золотниковые распределители ... 114
8.5.3. Крановые гидрораспределители ... 120
8.5.4. Клапанные гидрораспределители ... 120
8.5.5. Устройство со струйной трубкой ... 122
8.5.6. Устройства типа сопло-заслонка ... 123
8.6. Гидравлический преобразователь давления (мультипликатор давления) ... 125
8.7. Гидравлическое реле выдержки времени ... 126
8.8. Реле давления ... 127
8.9. Другие регулирующие гидравлические аппараты и устройства ... 128
8.10. Логические элементы систем управления ... 129

9. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ... 133
9.1. Рычажные механизмы управления ... 133

9.1.1. Механизм управления основного типа с центральной рукояткой ... 133
9.1.2. Механизм управления с одной или двумя боковыми рукоятками ... 134
9.1.3. Механизм управления с двумя независимыми педалями ... 136
9.2. Блоки питания гидравлического управления ... 136
9.3. Уплотнительные устройства ... 137

10. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ... 143
10.1. Пневматический привод ... 143
10.2. Особенности пневматического привода, достоинства и недостатки ... 144
10.3. Основные закономерности расчета пневмосистем ... 148
10.4. Подготовка сжатого воздуха ... 152
10.5. Исполнительные пневматические устройства ... 156

11. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ГИДРОСИСТЕМ ... 161
11.1. Гидросистемы с регулируемым насосом и дросселем ... 162
11.2. Гидросистемы с двухступенчатым усилением ... 164
11.3. Гидросистемы непрерывного (колебательного) движения ... 165
11.4. Электрогидравлические системы с регулируемым насосом ... 166
11.5. Гидросистемы с двумя спаренными насосами ... 167
11.6. Питание одним насосом двух и более гидродвигателей ... 168

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ... 171
Задача 1 ... 171
Задача 2 ... 172
Задача 3 ... 173
Задача 4 ... 175
Задача 5 ... 178
Задача 6 ... 180
Задача 7 ... 183
Задача 8 ... 186
Задача 9 ... 188
Задача 10 ... 189
Задача 11 ... 190

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 192

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ... 194

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОПРИВОДА

1.1. Структурная схема гидропривода. Преимущества и недостатки

Гидроприводом называется совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение исполнительных органов механизмов и машин посредством рабочей жидкости, находящейся под давлением, с одновременным выполнением функций регулирования и реверсирования скорости движения выходного звена (гидродвигателя).

Гидроприводы могут быть двух типов: гидродинамические и объемные. В гидродинамических приводах используется в основном кинетическая энергия потока жидкости. В объемных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости.

Основные элементы объемного гидропривода представлены на рис. 1.1.

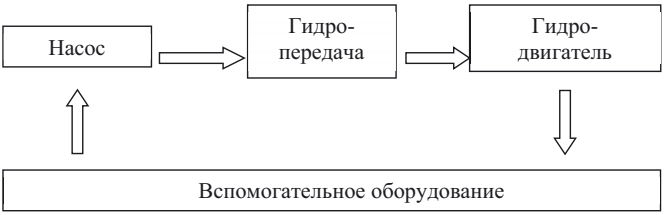


Рис. 1.1. Схема объемного гидропривода

Насос преобразует механическую энергию приводящего двигателя в энергию потока рабочей жидкости (гидравлическую энергию), гидродвигатель преобразует гидравлическую энергию в механическую возвратно-поступательного действия (гидроцилиндры) или вращательного (гидромоторы).

Гидропередача предназначена для доставки потока рабочей жидкости к гидродвигателю. В состав гидропередачи входят гидролинии и устройства управления.

Гидролинии (трубы, рукава высокого давления, каналы и соединения) предназначены для прохождения рабочей жидкости по ним в процессе работы объемного гидропривода. В зависимости от своего назначения гидролинии, входящие в общую гидросистему, подразделяются на всасывающие, напорные, сливные, дренажные и гидролинии управления.

Устройства управления предназначены для управления потоком или другими устройствами гидропривода. При этом под управлением потоком понимается изменение или поддержание на определенном уровне давления и расхода в гидросистеме, а также изменение направления движения потока рабочей жидкости.

К устройствам управления относятся:

- гидрораспределители, служащие для изменения направления движения потока рабочей жидкости, обеспечения требуемой последовательности включения в работу гидродвигателей, реверсирования движения их выходных звеньев и т. д.;
- регуляторы давления (предохранительный, редукционный, переливной и другие клапаны), предназначенные для регулирования давления рабочей жидкости в гидросистеме;
- регуляторы расхода (делители и сумматоры потоков, дроссели и регуляторы потока, направляющие клапаны), с помощью которых управляют потоком рабочей жидкости;
- гидравлические усилители, необходимые для управления работой насосов, гидродвигателей или других устройств управления посредством рабочей жидкости с одновременным усилением мощности сигнала управления.

В состав некоторых объемных гидропередач входит гидроаккумулятор (гидроемкости, предназначенные для аккумулирования энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением, с целью последующего ее использования для приведения в работу гидродвигателя). Кроме того, в состав гидропередач могут входить также гидропреобразователи – объемные гидромашины для преобразования энергии потока рабочей жидкости с одними значениями давления P и расхода Q в энергию другого потока с другими значениями P и Q.

Вспомогательные устройства обеспечивают надежную работу всех элементов гидропривода. К ним относятся: кондиционеры рабочей жидкости (фильтры, теплообменные аппараты и др.); уплотнители, обеспечивающие герметизацию гидросистемы; гидравлические реле давления; гидроемкости (гидробаки и гидроаккумуляторы рабочей жидкости) и др.

Состав вспомогательных устройств устанавливают исходя из назначения гидропривода и условий, в которых он эксплуатируется.

Широкое распространение гидропривода объясняется тем, что этот привод обладает рядом преимуществ перед другими видами приводов машин. Вот основные из них.

1. Бесступенчатое регулирование скорости движения выходного звена гидропередачи и обеспечение малых устойчивых скоростей. Минимальная угловая скорость вращения вала гидромотора может составлять 2…3 об/мин.

2. Небольшие габариты и масса. Время разгона, благодаря меньшему моменту инерции вращающихся частей не превышает долей секунды в отличие от электродвигателей, у которых время разгона может составлять несколько секунд.
3. Частое реверсирование движения выходного звена гидропередачи. Например, частота реверсирования вала гидромотора может быть доведена до 500, а штока поршня гидроцилиндра даже до 1000 реверсов в минуту. В этом отношении гидропривод уступает лишь пневматическим инструментам, у которых число реверсов может достигать 1500 в минуту.
4. Большое быстродействие и наибольшая механическая и скоростная жесткость. Механическая жесткость – величина относительного позиционного изменения положения выходного звена под воздействием изменяющейся внешней нагрузки. Скоростная жесткость – относительное изменение скорости выходного звена при изменении приложенной к нему нагрузки.
5. Автоматическая защита гидросистем от вредного воздействия перегрузок благодаря наличию предохранительных клапанов.
6. Хорошие условия смазки трущихся деталей и элементов гидроаппаратов, что обеспечивает их надежность и долговечность. Так, например, при правильной эксплуатации насосов и гидромоторов срок их службы доведен в настоящее время до 5…10 тыс. ч работы под нагрузкой. Гидроаппаратура может не ремонтироваться в течение долгого времени (до 10…15 лет).
7. Простота преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и возвратно-поворотные без применения каких-либо механических передач, подверженных износу.

Говоря о преимуществах гидропривода, следует отметить простоту автоматизации работы гидрофицированных механизмов, возможность автоматического изменения их режимов работы по заданной программе.

Гидроприводу присущи и недостатки, которые ограничивают его применение. Основные из них следующие.

1. Изменение вязкости применяемых жидкостей от температуры, что приводит к изменению рабочих характеристик гидропривода и создает дополнительные трудности при эксплуатации гидроприводов (особенно при отрицательных температурах).
2. Утечки жидкости из гидросистем, которые снижают КПД привода, вызывают неравномерность движения выходногозвена гидропередачи, затрудняют достижение устойчивой скорости движения рабочего органа при малых скоростях.
3. Необходимость изготовления многих элементов гидропривода по высокому классу точности для достижения малых зазоров между

подвижными и неподвижными деталями, что усложняет конструкцию и повышает стоимость их изготовления.

4. Взрыво- и огнеопасность применяемых минеральных рабочих жидкостей.
5. Невозможность передачи энергии на большие расстояния из-за больших потерь на преодоление гидравлических сопротивлений и резкое снижение при этом КПД гидросистемы.

Со многими из этих недостатков можно бороться. Например, стабильность вязкости при изменении температуры достигается применением синтетических рабочих жидкостей. Окончательный выбор типа привода устанавливается при проектировании машин по результатам технико-экономических расчетов с учетом условий работы этих машин. Гидропривод, тем не менее, имеет преимущества по сравнению с другими типами приводов там, где требуется создание значительной мощности, быстродействие, позиционная точность исполнительных механизмов, компактность, малая масса, высокая надежность работы и разветвленность привода.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные элементы объемного гидропривода.
2. Дайте развернутую характеристику основных элементов объемного гидропривода.
3. Преимущества гидропривода.
4. Недостатки гидропривода.

2. РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ

2.1. Назначение

Рабочая жидкость в гидроприводе служит для передачи механической энергии по трубам от насоса к гидродвигателю. Кроме того, рабочая жидкость выполняет ряд важных функций, определяющих эксплуатационные свойства и технико-экономические показатели гидропривода: обеспечивает смазывание и охлаждение поверхностей трения, защищает детали от коррозии, способствует удалению продуктов износа системы.

2.2. Требования к рабочим жидкостям

К современным рабочим жидкостям предъявляется целый ряд требований. В зависимости от назначения гидросистемы и условий ее эксплуатации, используемые в ней рабочие жидкости в той или иной степени должны:

1) обладать хорошими смазывающими и антикоррозионными свойствами;
2) иметь высокий модуль объемной упругости;
3) обладать малой способностью к растворению и выделению воздуха;
4) обладать высокой вязкостно-температурной стабильностью;
5) сопротивляться вспениванию;
6) обладать достаточной химической стабильностью в процессе эксплуатации и хранения;
7) иметь возможно меньший коэффициент теплового расширения;
8) обладать хорошей теплопроводностью и большой удельной теплоемкостью;
9) быть негигроскопичной;
10) иметь высокую температуру кипения, высокую температуру вспышки (быть пожаро- и взрывобезопасными) и низкую температуру застывания;
11) быть нетоксичной и не иметь неприятного запаха;
12) иметь достаточную долговечность;
13) не иметь механических примесей;
14) не быть агрессивными к резиновым уплотнениям, изоляции электрооборудования и кабелей, тепловой изоляции, краске и тканям, применяемым на машинах с гидроприводом;
15) иметь небольшую стоимость.

2.3. Применяемые жидкости

В качестве рабочих жидкостей применяются в основном различные минеральные масла и их смеси, спирто-глицериновые смеси, водо-масляные эмульсии, а также жидкости на основе различных органических и кремнийорганических соединений.

Нефтяные жидкости получают обычными методами переработки нефти. Они обладают рядом положительных качеств, наиболее важными из которых являются доступность получения и невысокая стоимость. Существенным недостатком их является то, что они имеют сравнительно низкую верхнюю границу температурного диапазона. Так, температурный предел работоспособности минеральных масел для закрытых систем ограничивается значением $t = 120$ °С.

Для улучшения эксплуатационных свойств в состав рабочих жидкостей вводят всевозможные присадки.

Особенно широко применяют загущенные минеральные масла, получаемые смешиванием маловязких нефтепродуктов с высоковязкими полимерными компонентами. Обычно в качестве загущающих присадок применяются: винипол, полиметакрилаты и полиизобутилены. Присадки способствуют сохранению химического состава масел при повышении температуры, повышают вязкостно-температурную стабильность, уменьшают пенообразование, улучшают противоизносовые и антикоррозионные свойства, снижают температуру застывания. Концентрации присадок в различных рабочих жидкостях составляют от 0,05 до 22 %.

Синтетические – это жидкости, основу которых составляют продукты, полученные в результате химических реакций (диэфиры, силоксаны, фосфаты и др.). Как правило, они негорючие, стойкие к окислению, имеют низкую температуру застывания, обладают стабильностью вязкостных характеристик в течение длительного срока эксплуатации и в широком диапазоне температур.

Однако, синтетические рабочие жидкости не универсальны, имеют высокую стоимость, ограниченные сырьевые ресурсы. Каждая из жидкостей имеет свои недостатки. Например, несовместимость с резиновыми уплотнениями, высокая текучесть, плохая смазывающая способность, токсичность и др.

Смешивание различных синтетических жидкостей позволяет получать рабочие жидкости повышенного качества.

Водополимерные растворы – рабочие жидкости, представляющие собой водный раствор различных полимеров (содержат до 35 % воды).

Эмульсионные рабочие жидкости разделяют на водомасляные и масловодяные. Водомасляные эмульсии типа «масло в воде» представляют собой смесь воды и нефтяных жидкостей (до 20 %). Их применяют в гидроприво-

дах, работающих в пожароопасной обстановке и в условиях необходимости использования большого количества рабочей жидкости.

Недостатки: плохая смазывающая способность, малый диапазон рабочих температур (от 5 до 55 °С).

Масловодяные эмульсии типа «вода в масле» представляют собой смеси нефтяных жидкостей и воды (не больше 40 %).

2.4. Основные физические свойства и показатели рабочих жидкостей

Несмотря на большое разнообразие гидравлических жидкостей и присадок к ним, максимально удовлетворить эксплуатационные требования затруднительно. В связи с этим выбор необходимого типа и марки рабочей жидкости для технической эксплуатации осуществляется с учетом конструктивных особенностей гидропривода и конкретных условий функционирования оборудования. Такой практический подбор возможен на основе всестороннего учета следующих свойств жидкостей.

Вязкость – это свойство жидкости оказывать сопротивление касательным (сдвигающим) усилиям, определяя тем самым внутреннее трение между слоями жидкости.

Вязкость является важнейшим свойством жидкости, от которого зависят объемные и механические потери, возможность гидропривода работать в широком диапазоне изменения температур. Ее характеристиками приняты динамическая вязкость μ и кинематическая вязкость ν, связанные между собой зависимостью.

Вязкость рабочих жидкостей на нефтяной основе не является постоянной величиной и зависит от температуры, давления и срока эксплуатации.

С повышением температуры вязкость падает и при этом может изменяться в десятки раз. Например, у масла АМГ-10 при изменении температуры в диапазоне от −60 °С до +60 °С кинематическая вязкость меняется от 2000 до 8 сСт. Такое значительное изменение вязкости затрудняет эксплуатацию гидропривода.

При чрезмерно высокой вязкости увеличивается сопротивление течению жидкости в системе, увеличиваются потери на трение, снижается КПД привода, может нарушиться сплошность потока и рабочие камеры насоса окажутся незаполненными, снизится подача, на лопастях возникнет кавитация и, как следствие, снизится ресурс насоса.

Слишком низкая вязкость ведет к увеличению внутренних и внешних утечек в полостях насосов, устройств и в уплотнениях; создает потери мощности, устойчивости и количества рабочей жидкости. Кроме того, ухудшается смазка и увеличивается опасность появления задиров и заклинивания деталей с тяжелыми отказами.

Чем меньше изменение вязкости при изменении температуры, тем выше специальный показатель «индекс вязкости» и выше количество масла. Для получения высокого индекса вязкости к минеральным маслам добавляют вязкостные присадки.

С увеличением давления вязкость повышается. Зависимость эта линейная до давления 50 МПа. Влияние низкого и среднего давления незначительно, поэтому до 10 МПа изменение вязкости не учитывается. При давлении больше 10 МПа необходимо учитывать изменение вязкости от давления коэффициентом, где p – давление жидкости в МПа; k – коэффициент, зависящий от марки масла: для легких масел $k = 0{,}02$, для тяжелых $k = 0{,}03$.

Наиболее полную информацию о характере изменения вязкости дают графики зависимости кинематической вязкости от давления и температуры, например, для масла ВГМЗ (рис. 2.1, *а*) и масла МГ-30 (рис. 2.1, *б*).

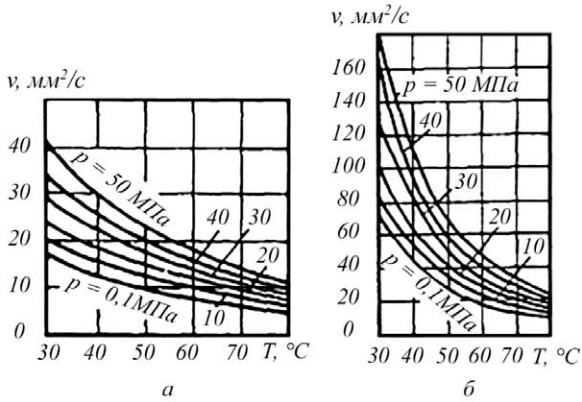


Рис. 2.1. Графическая зависимость вязкости от температуры: а – масло ВГМЗ; б – масло МГ-30

В зависимости от фирмы и страны-производителя рабочей жидкости ее вязкость определяется различными типами промышленных вискозиметров. Например, в Англии – вискозиметром Редвуда, в США – вискозиметром «Сейболт универсальный» или вискозиметром Сейболта «Фурол», в нашей стране экспериментальное определение вязкости рабочих жидкостей на нефтяной основе осуществляется по ГОСТ 33-2000. Для этой цели используют преимущественно капиллярные или ротационные вискозиметры.

В технических характеристиках вязкость рабочих жидкостей указывается для температур 50 °С или 100 °С.

Для взаимного перевода одних единиц вязкости в другие при одной и той же температуре с достаточной для практических целей точностью можно воспользоваться графиком, приведенным в [5].

Ориентировочно экспресс-анализ изменения вязкости можно выполнить вискозиметром, в котором использовано то обстоятельство, что чем более вязка жидкость, тем медленнее всплывают в ней пузырьки воздуха. Такой прибор (рис. 2.2), состоит из нескольких трубочек, в которые залиты различные масла уже известной вязкости. Рядом помещена такая же трубочка, в которую заливают испытуемое масло. Трубочки заполняются так, чтобы в каждой из них оставался небольшой (одинаковый для всех трубок) пузырек воздуха. Замерив время подъема пузырька в трубке с испытуемым маслом и сравнив его со временем подъема пузырьков в других трубках, можно с достаточной точностью определить вязкость испытуемого масла.

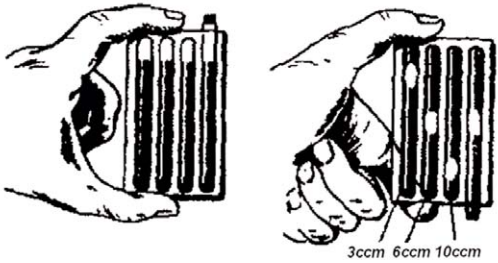


Рис. 2.2. Вискозиметр

Можно также воспользоваться вискозиметром, входящим в комплект лаборатории «Лама». Определение вязкости основано на сравнении скорости падения стального шарика в испытуемой жидкости со скоростью падения таких же шариков в жидкостях с известной вязкостью.

Согласно ISO 3448 устанавливаются следующие классы вязкости: VG 1, 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150.

Класс вязкости VG отражает среднюю точку кинематической вязкости ν в сантистоксах при 40 °C. Ширина каждой зоны вязкости составляет ±10 % от значения средней точки. В гидроприводах подъемно-транспортных, дорожных и строительных машин используют рабочие жидкости с классами вязкости от 15 до 68 включительно.

Сжимаемость – способность жидкости под воздействием внешнего давления изменять свой объем – характеризуется коэффициентом объемного сжатия α_v, равным относительному изменению объема при изменении давления на 0,1 МПа:

$$\alpha_v = \frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta p}\left(\frac{1}{\text{Па}}\right). \qquad (2.1)$$

Объем, который будет занимать жидкость после изменения давления, может быть вычислен по формуле:

$$V_p = V_0\left[1 - \alpha_v\left(p - p_0\right)\right], \tag{2.2}$$

где V_0 и p_0 – начальные значения объема (м^3) и давления (Па).

p – давление после изменения (Па).

Величина, обратная сжимаемости, называется модулем объемной упругости жидкости:

$$E = \frac{1}{\alpha_v}\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right). \tag{2.3}$$

Для минеральных масел

$$E = (13{,}5 - 17{,}5)\cdot 10^8\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right).$$

Температурное расширение – свойство жидкости изменять свой объем при изменении температуры – характеризуется коэффициентом объемного расширения β_t, равным относительному изменению объема жидкости при изменении температуры на 1 °С.

$$\beta_t = \frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta t}\left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right). \tag{2.4}$$

Объем, который будет занимать жидкость после изменения температуры, может быть вычислен по формуле

$$V_t = V_0\left[1 + \beta_t\left(t - t_0\right)\right], \tag{2.5}$$

где V_0 и t_0 – исходные значения объема (м^3) и температуры (°С);

t – температура после изменения, °С.

Для минеральных масел $\beta_t = (6 - 8{,}5)\cdot 10^{-4}\left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$.

И сжимаемость, и температурное расширение влияют на изменение плотности жидкости.

Плотность – скалярная величина, определяемая предельным выражением:

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0}\frac{\Delta m}{\Delta V}\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right), \tag{2.6}$$

где Δm и ΔV – малые масса (кг) и объем (м^3).

Величина, обратная плотности, называется удельным объемом:

$$v = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}\right). \tag{2.7}$$

В общем случае плотность представляется функцией координат и времени $\rho = \rho(x,y,z,t)$. В данной точке в данный момент времени плотность рассматривают как функцию давления и температуры $\beta = f(p,T)$.

Плотность рабочих жидкостей с увеличением давления при постоянной температуре незначительно увеличивается, а с ростом температуры при постоянном давлении падает. Вычислить изменение плотности можно по формулам:

$$\rho_t = \rho_0 e^{-\beta_t \Delta t} \quad \text{и} \quad \rho_p = \rho_0 e^{\alpha_v \Delta p} \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right). \tag{2.8}$$

Если Δt и Δp невелики, то можно использовать упрощенные формулы:

$$\rho_t = \rho_0 \left(1 - \beta_t \Delta t\right) \quad \text{и} \quad \rho_p = \rho_0 \left(1 + \alpha_v \Delta p\right), \tag{2.9}$$

где Δt и Δp – абсолютные изменения давления (Па) и температуры (°С);
ρ_0 – плотность жидкости при нормальных условиях ($p = 1$ кг/м^3, $t = 20$ °С);
e – основание натурального логарифма.

Определение плотности жидкости можно производить или непосредственным взвешиванием, или прибором, называемым «ареометр».

Величину изменения плотности следует учитывать при расчете элементов гидравлических систем, т. к. потери давления при движении жидкости Δp напрямую зависят от плотности $\left(\Delta p = \rho \frac{v^2}{2g}\right)$.

Теплоемкость и теплопроводность – свойства жидкости, определяющие эффективность отвода из системы тепла, выделяющегося при ее работе.

Теплоемкость – количество теплоты, необходимое для нагревания тела на 1 °С. От теплоемкости зависит интенсивность разогрева гидропривода. Чем больше теплоемкость жидкости, тем медленнее при прочих равных условиях повышается ее температура внутри системы.

Теплопроводность – процесс переноса теплоты от участков рабочего тела с большей температурой к участкам с меньшей температурой. Количество теплоты можно вычислить по формуле:

$$Q = \lambda \frac{\Delta t}{l} S \tau \ (\text{Вт}), \tag{2.10}$$

где λ – коэффициент теплопроводности;
Δt – разность температуры между двумя точками, °С;
l – расстояние между этими точками, м;
S – площадь, через которую идет теплообмен, м^2;
τ – время, с.

Средняя удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности величины переменные, зависят от сорта масла, температуры, давления и др.

Однако, изменения параметров небольшие, поэтому в расчетах принимаются постоянными. Средняя удельная теплоемкость минеральных масел $c_м = 1{,}88 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot град}$, коэффициент теплопроводности $\lambda_м = 0{,}136 \frac{Вт}{м°С}$.

С увеличением давления теплопроводность жидкостей увеличивается.

Минеральные масла являются плохими проводниками тепла. Коэффициент теплопроводности масел примерно в 5 раз меньше, чем у воды и в 500 раз меньше, чем у стали.

Температура вспышки – это та минимальная температура, при которой рабочая жидкость образует с воздухом смесь, способную кратковременно воспламеняться при поднесении открытого огня. Она характеризует пожарную безопасность жидкости.

Для высококачественных масел из нефти температура вспышки довольно высокая, как правило, выше +200 °С.

Температурой застывания принято считать температуру, при которой жидкость теряет подвижность. Согласно ГОСТ 20287-74 – это такая максимальная температура, при которой мениск масла в пробирке, наклоненной на 45°, не теряет своей формы в течение 1 мин.

Практически рабочие жидкости на нефтяной основе при этом еще окончательно не теряют своей подвижности и их перекачка возможна.

Однако, повышение вязкости жидкости при снижении температуры вызывает увеличение потерь, в том числе и во всасывающем патрубке насоса, что может привести к возникновению кавитации и потери работоспособности гидравлического привода. Для исключения этого температура застывания рабочей жидкости должна быть ниже возможной рабочей температуры не меньше, чем на 10...15 °С.

Кислотность – это характеристика окисляемости масел, определяется кислотным числом, равным количеству КОН в миллиграммах, необходимого для нейтрализации кислот, содержащихся в 1 г испытуемого масла.

Например, кислотное число АМГ-10 при поставке должно быть не больше 0,05, а предельное кислотное число для масла, находящегося в эксплуатации, составляет 0,55. Предельным кислотным числом считается 1,5 мг/г.

Признаком повышения кислотности является потемнение масла в процессе эксплуатации.

Смазывающие свойства характеризуются способностью жидкости обеспечивать образование на поверхности металла прочной масляной пленки, препятствующей непосредственному контакту сопряженных деталей и создающей режим гидродинамической смазки при их взаимном перемещении. Обычно, чем выше вязкость, тем прочнее масляная пленка. Как известно, при повышении температуры жидкости ее вязкость снижается, в результате чего возможен разрыв пленки и, как следствие, сухое трение между деталями, схватывание трущихся поверхностей, повышенный износ,

образование задиров. Для улучшения смазывающих свойств, особенно при повышенных температурах, к маслам на нефтяной основе добавляют противоизносные и противозадирные присадки.

Кроме перечисленных свойств, при выборе минерального масла для конкретной гидросистемы следует учитывать некоторые показатели ее качества и состояния.

Особенно важным является требование к обеспечению показателя чистоты масел в процессе транспортировки, хранения, заправки и эксплуатации. Это требование продиктовано высокой точностью изготовления элементов гидропривода с малыми зазорами в сопряжениях и необходимостью обеспечения высокой надежности и долговечности системы.

Все механические примеси подразделяют на две группы: органические и неорганические.

Органические загрязнения состоят в основном из продуктов термического разложения, окисления и полимеризации масла.

Неорганические – из остатков изготовления и сборки системы, продуктов износа поверхностей трения, почвенной пыли.

В зависимости от состава, размеров и количества механические загрязнения могут вызывать различные неисправности и отказы гидросистем, такие как нарушение нормальной смазки, повышение износа деталей, засорение зазоров золотников и проточных каналов дросселей, засорение гидролиний и фильтров, увеличение потерь на трение и, как следствие, увеличение нагрева масла. Поэтому, содержание механических примесей и различных загрязнений в виде взвешенных в масле частиц строго регламентируется.

Массовая концентрация загрязненности оценивается массой частиц в единице объема в мг/л или %.

Гранулометрический состав загрязненности характеризуется количеством частиц определенных размеров в единице объема жидкости. ГОСТ 17216-71 устанавливает 19 классов чистоты рабочих жидкостей. Согласно этому ГОСТу весь диапазон размеров механических примесей от 0,5 до 200 мкм разбит на 8 интервалов. Для каждого класса чистоты в этих интервалах указано максимальное число частиц загрязнений определенных размеров в объеме жидкости 100 $см^3$.

Для конкретного гидропривода в зависимости от назначения, требований к надежности, установленного срока службы и других показателей назначается класс чистоты жидкости. Так, для самоходных подъемно-транспортных, дорожных и строительных машин, эксплуатируемых при давлении 16...25 МПа, назначаются 12–13 классы чистоты; для тех же гидроприводов, работающих при давлениях 8...14 МПа – 13–14 классы.

Точный анализ чистоты масел проводят в специализированных лабораториях. Приближенно это можно сделать с помощью различных упрощенных методов экспресс-анализов.

Ориентировочную качественную оценку загрязнений масла в условиях эксплуатации можно сделать, если капнуть испытуемым маслом на фильтровальную бумагу. Чистое масло дает прозрачное пятно, масло с примесями – грязное или мутное. После растекания и впитывания масла бумагой в течение 1 часа, остается масляный отпечаток. Примерный процент механических примесей можно определить, ориентируясь на эталоны масляных пятен (рис. 2.3) и их характеристики, таблица 2.1.

Таблица 2.1

Примерный процент содержания механических примесей в эталонах масляных пятен

№ п/п	Процент механических примесей	Характеристики масляного пятна
1	0,00–0,01	Светлое желтоватое пятно
2	0,01–0,05	Желтоватое пятно с резко-ограниченной более темной окантовкой
3	0,05–0,10	Серое пятно, ограниченное еще более темной окантовкой
4	0,10–0,80	Темно-серое пятно, ограниченное черной окантовкой
5	Более 0,80	Сплошное черное пятно

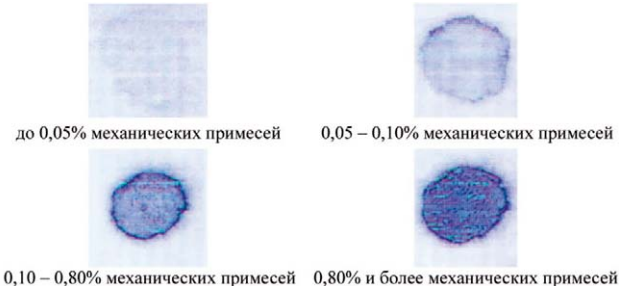


Рис. 2.3. Эталоны масляных пятен

Для уменьшения загрязненности в эксплуатации применяют различные способы фильтрования жидкостей.

Содержание воды в минеральных маслах не допускается или строго ограничивается. Присутствие воды в масле приводит к образованию водно-масляных эмульсий и резко увеличивается пенообразование, из-за чего ухудшается смазывающая способность масла, усиливаются окислительные и коррозионные процессы, ухудшаются условия всасывания насосов и динамика гидропривода.