

1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ГИДРАВЛИКИ

Гидравликой называется техническая наука, которая изучает равновесие и движение жидкостей, а также силовое взаимодействие между жидкостью и твердыми телами. Задолго до нашей эры были построены каналы, водохранилища, акведуки и устройства для подъема воды в Древнем Египте, Ассирии, Китае, Греции. Римские акведуки обеспечивали доставку воды в города на большие расстояния. Трактат Архимеда «О плавающих телах» был написан за 250 лет до новой эры и сохранил свое значение до сих пор. С XVI в. в области гидравлики появились работы Галилея, Торричелли, Паскаля, Ньютона, Бернулли, Эйлера и др.

В настоящее время основные области применения гидравлики — гидротехника, мелиорация, гидроэнергетика, водоснабжение, водный транспорт, машиностроение, авиация и др.

Рассмотрим основные свойства жидкости.

Плотность — это отношение массы жидкого тела к его объему. Плотность во всех точках однородной жидкости постоянна.

Сжимаемость — если давление увеличится в 100 раз, плотность воды изменится на 0,5%. Можно считать, что плотность жидкости практически не зависит от давления.

Температурное расширение — это свойство жидкости изменять свой объем при изменении температуры. Температурное расширение характеризует коэффициент β — относительное изменение объема при изменении температуры на 1°C и постоянном давлении:

$$\beta = \Delta W / W_0 \cdot \Delta t,$$

где $\Delta t = t - t_0$ — разница конечной и первоначальной температур;
 $\Delta W = W - W_0$ — разница конечного и первоначального объемов.

Для воды

$t, ^\circ\text{C}$	10–20	60–70	90–100
$\beta \cdot 10^{-5}, 1/^\circ\text{C}$	15	55	72

Таким образом, при повышении температуры от 90 до 100°C объем воды увеличится на 7,2%.

Для минеральных масел значение β в диапазоне давлений от 0 до 20 МПа изменяется от $5 \cdot 10^{-4}$ до $8 \cdot 10^{-4}$, причем нижний предел соответствует 40°C , а верхний — 80°C .

Растворимость газов в жидкости. Относительный объем газа, растворенного в жидкости до ее полного насыщения, выражается формулой

$$V_g/V_o = k_o \cdot P/P_o,$$

где V_g — объем растворенного газа при нормальных условиях; V_o — объем жидкости; k_o — коэффициент растворимости; P — конечное давление газа; P_o — давление газа при нормальных условиях ($t = 20^\circ\text{C}$, $P = P_o$).

Зависимость k_o от вида жидкости:

Жидкость	Вода	Керосин	Индустриальные масла
k_o	0,016	0,124	0,076

В смесях минеральных масел, применяемых в гидросистемах, коэффициенты растворимости воздуха и азота равны соответственно 0,10 и 0,12.

При понижении давления в жидкости происходит интенсивное выделение растворенного в ней газа.

Нерастворенный воздух находится в механической смеси с жидкостью. Размеры пузырьков воздуха обычно 0,4–0,8 мм. Дисперсия, состоящая из капельной жидкости с пузырьками воздуха, называется газожидкостной. При этом пузырьки газа влияют на вязкость дисперсии. Обычно в жидкости работающей гидросистемы находится от 0,5 до 5,0% пузырьков нерастворенного воздуха (по объему), а иногда до 15%.

Нерастворенный воздух и пена увеличивают окисление жидкостей и повышают коррозию металлических деталей. Газовоздушная составляющая жидкости приводит к повышению температуры и снижению теплообмена. В системах смазки пузырьки воздуха уменьшают площадь подшипника, воспринимающую давление, и увеличивают нагрузку на подшипник.

Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление касательным усилиям при ее движении.

Закон Ньютона. Сила внутреннего трения между слоями жидкости прямо пропорциональна градиенту изменения скорости и площади соприкосновения слоев: $F = \eta \cdot S \cdot dV/dh$. Коэффициент пропорциональности называется динамической вязкостью и измеряется в пуазах.

Кинематической вязкостью называется отношение динамической вязкости к плотности жидкости: $\nu = \eta/\rho$. За единицу измерения

кинематической вязкости принимают Стокс. На практике используют меньшую величину — сантистокс.

Вязкость жидкости зависит от температуры. При повышении температуры вязкость жидкостей уменьшается. *Например, если для моторного масла вязкость при температуре 100 °C равна 10 сСт, то при температуре 40 °C — 102,5 сСт.*

Испарение. Если жидкость, имеющая свободную поверхность, длительное время находится в закрытом резервуаре, то с течением времени число молекул жидкости, переходящих в пар, может сравняться с числом молекул, возвратившихся в жидкость. Пар станет насыщенным. Установившееся в нем давление называется упругостью насыщенного пара.

Поверхностное натяжение. У молекул, расположенных на границе жидкости и газа (воздуха), система молекулярных сил оказывается неуравновешенной из-за отсутствия притяжения со стороны молекул воздуха. Поэтому появляется сила, направленная внутрь объема жидкости, называемая силой молекулярного давления. Молекулы поверхностного слоя находятся в напряженном состоянии, характеризуемом силами поверхностного натяжения, которые стягивают поверхность и стремятся ее сократить.

Коэффициент поверхностного натяжения представляет собой силу, действующую по касательной к поверхности жидкости и приходящуюся на единицу длины линии раздела соседних частей поверхности.

У смачиваемых поверхностей силы сцепления между молекулами твердой поверхности и молекулами жидкости выше молекулярных сил взаимодействия внутри жидкости, а у несмачиваемых — меньше. В месте соприкосновения частиц жидкости свободной поверхности со смачиваемой твердой стенкой они подтягиваются вверх, и в трубке образуется вогнутая поверхность. В случае несмачиваемой поверхности в трубке устанавливается выпуклый мениск. Вогнутая поверхность уменьшает молекулярное давление, а выпуклая увеличивает.

Кавитация — это явление, возникающее в движущейся жидкости при понижении давления до упругости насыщенного пара. Парогазовые пузырьки, перемещаясь с потоком жидкости в область с более высоким давлением, захлопываются, излучая при этом ударную волну. Это может вызвать разрушение твердых поверхностей, которое происходит в результате высокочастотных местных гидравлических и тепловых ударов частиц жидкости и газа.

Основное уравнение гидростатики: текущее давление в точке внутри жидкости равно давлению на поверхность жидкости плюс давление от веса столба жидкости в данной точке: $P = P_0 + \rho \cdot h$.

Закон Паскаля: давление, производимое на жидкость или газ, передается по всем направлениям без изменения.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной телом. Выталкивающая сила называется подъемной силой. Если она больше веса тела — оно всплывает, если меньше — тело тонет, а при равенстве этих сил тело находится в плавучем состоянии.

Уравнение неразрывности потока жидкости $u_1 \cdot d\omega_1 = u_2 \cdot d\omega_2$ — произведение скорости движения на площадь сечения есть величина постоянная для всех сечений неразрывной струи.

Уравнение Бернулли для струйки идеальной жидкости:

$$z + P/\rho \cdot g + u^2/2g = \text{const},$$

где z — геометрическая высота центра сечения относительно плоскости сравнения; P — гидростатическое давление в сечении.

Полная энергия $H_c = z + P/\rho \cdot g + u^2/2g$, z — удельная энергия положения; $P/\rho \cdot g$ — удельная потенциальная энергия давления; $u^2/2g$ — удельная кинетическая энергия, или скоростной напор.

Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости $z + P/\rho \cdot g + \alpha u^2/2g = H_c$ — полная удельная механическая энергия потока, где α — коэффициент, зависящий от неравномерности распределения скоростей по различным сечениям потока.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные свойства жидкости.
2. Чему равна сила внутреннего трения между слоями жидкости?
3. Что такое динамическая вязкость?
4. Что такое кинематическая вязкость?
5. Сформулируйте закон Паскаля.
6. Сформулируйте закон Архимеда.
7. Что такое кавитация?

2. СТРУКТУРА ГИДРОПРИВОДА

Привод — это совокупность механизмов и систем, предназначенных для передачи усилия оператора или крутящего момента двигателя исполнительному устройству. Привод может быть механическим, гидравлическим, пневматическим и электрическим. При механическом приводе передача энергии осуществляется системой рычагов и тяг, при гидравлическом — путем использования жидкости, а при пневматическом — за счет энергии избыточного давления или разрежения воздуха. При электрическом приводе генератор, соединенный с источником энергии, питает электромотор, установленный непосредственно на исполнительном механизме.

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. Объемный гидропривод состоит из гидропередачи, устройств управления, вспомогательных устройств и гидролиний.

Объемная гидропередача, являющаяся силовой частью гидропривода, состоит из *объемного насоса* (преобразователя механической энергии приводящего двигателя) и *гидроаккумулятора* (гидроемкости, предназначенной для аккумулирования энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением, с целью последующего ее использования для приведения в работу гидродвигателя). Кроме того, в состав гидропередачи могут входить также *гидропреобразователи* — объемные гидромашины для преобразования энергии потока рабочей жидкости с одними значениями давления P_1 и расхода Q_1 в энергию другого потока с другими значениями P_2 и Q_2 .

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, редуционный, переливной и другие клапаны);

– *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.

Вспомогательные устройства:

– *кондиционеры рабочей жидкости* (фильтры, теплообменные аппараты и др.);

– *уплотнители*, обеспечивающие герметизацию гидросистемы;

– *гидравлические реле давления*;

– *гидроемкости* (гидробаки и гидроаккумуляторы рабочей жидкости) и др.

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.

Классификация и принцип работы гидроприводов

В зависимости от конструкции и типа входящих в состав гидропередачи элементов объемные гидроприводы можно классифицировать по нескольким признакам.

1. По характеру движения выходного звена гидродвигателя:

– *гидропривод вращательного движения*, когда в качестве гидродвигателя применяется гидромотор, у которого ведомое звено (вал или корпус) совершает неограниченное вращательное движение;

– *гидропривод поступательного движения*, у которого в качестве гидродвигателя применяется гидроцилиндр — двигатель с возвратно-поступательным движением ведомого звена (штока поршня, плунжера или корпуса);

– *гидропривод поворотного движения*, когда в качестве гидродвигателя применен поворотный гидроцилиндр, у которого ведомое звено (вал или корпус) совершает возвратно-поворотное движение на угол, меньший 360°.

2. По возможности регулирования:

– регулирование может быть *дроссельным, объемным, объемно-дроссельным* или *с изменением скорости двигателя*, приводящего в работу насос. Регулирование может быть *ручным* или *автоматическим*.

3. По схеме циркуляции рабочей жидкости:

— *гидропривод с замкнутой схемой циркуляции*, в котором рабочая жидкость от гидродвигателя возвращается во всасывающую гидролинию насоса. Гидропривод с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости компактен, имеет небольшую массу и допускает большую частоту вращения ротора насоса без опасности возникновения кавитации, поскольку в такой системе во всасывающей линии давление всегда превышает атмосферное. К недостаткам следует отнести плохие условия для охлаждения рабочей жидкости, а также необходимость спускать из гидросистемы рабочую жидкость при замене или ремонте гидроаппаратуры;

— *гидропривод с разомкнутой системой циркуляции*, в котором рабочая жидкость постоянно сообщается с гидробаком или атмосферой. Достоинства такой схемы — хорошие условия для охлаждения и очистки рабочей жидкости. Однако такие гидроприводы громоздки и имеют большую массу, а частота вращения ротора насоса ограничивается допускаемыми (из условий бескавитационной работы насоса) скоростями движения рабочей жидкости во всасывающем трубопроводе.

4. По источнику подачи рабочей жидкости:

— *насосные гидроприводы*, в которых рабочая жидкость подается в гидродвигатели насосами, входящими в состав этих гидроприводов;

— *аккумуляторные гидроприводы*, в которых рабочая жидкость подается в гидродвигатели из гидроаккумуляторов, предварительно заряженных от внешних источников, не входящих в состав данных гидроприводов;

— *магистральные гидроприводы*, в которых рабочая жидкость подается к гидродвигателям от специальной магистрали, не входящей в состав этих приводов.

5. По типу приводящего двигателя гидроприводы могут быть с электроприводом, приводом от ДВС, турбин и т. д.

Принцип работы объемного гидропривода основан на законе Паскаля, по которому всякое изменение давления в какой-либо точке покоящейся жидкости, не нарушающее ее равновесия, передается в остальные ее точки без изменения. Насосом рабочая жидкость подается в напорную гидролинию и далее через распределитель к гидродвигателю. При одном положении гидрораспределителя совершается рабочий ход гидродвигателя, а при другом положении — холостой. Из гидродвигателя жидкость через распределитель поступает в сливную гидролинию и далее или в гидробак, или во всасывающую гидролинию насоса (в гидроприводах с замкнутой схемой циркуляции

рабочей жидкости). В резервуаре жидкость охлаждается и снова поступает в гидросистему. Надежная работа гидропривода возможна только при соответствующей очистке рабочей жидкости фильтрами.

Регулирование скорости движения выходного звена гидродвигателя может быть дроссельным или объемным. При дроссельном регулировании в гидросистеме устанавливаются нерегулируемые насосы, а изменение скорости движения выходного звена достигается изменением расхода рабочей жидкости через дроссель. При объемном регулировании скорость движения выходного звена гидродвигателя изменяется подачей регулируемого насоса либо за счет применения регулируемого гидромотора.

Преимущества и недостатки гидропривода

Широкое распространение гидропривода объясняется тем, что он обладает рядом преимуществ перед другими видами приводов машин:

а) *бесступенчатое регулирование скорости* движения выходного звена гидропередачи и обеспечение малых устойчивых скоростей. Минимальная угловая скорость вращения вала гидромотора может составлять 2–3 об/мин;

б) *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;

в) *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;

г) *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;

д) *автоматическая защита* гидросистем от вредного воздействия перегрузок благодаря наличию предохранительных клапанов;

е) *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;

ж) *простота преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и возвратно-поворотное* без применения каких-либо механических передач, подверженных износу. Следует отметить простоту автоматизации работы гидрофицированных механизмов, возможность автоматического изменения их режимов работы по заданной программе.

Гидроприводу присущи и недостатки, которые ограничивают его применение:

а) *изменение вязкости применяемых жидкостей от температуры*, что приводит к изменению рабочих характеристик гидропривода и создает дополнительные трудности при эксплуатации гидроприводов (особенно при отрицательных температурах);

б) *утечки жидкости из гидросистем*, которые снижают КПД привода, вызывают неравномерность движения выходного звена гидроредуктора, затрудняют достижение устойчивой скорости движения рабочего органа при малых скоростях;

в) *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;

г) *взрыво- и огнеопасность* применяемых минеральных рабочих жидкостей;

д) *невозможность передачи энергии на большие расстояния* из-за больших потерь на преодоление гидравлических сопротивлений и резкое снижение при этом КПД гидросистемы.

Гидропривод эффективен там, где требуется создание значительной мощности, быстроедействие, позиционная точность исполнительных механизмов, компактность, малая масса и высокая надежность работы.

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.

Контрольные вопросы

1. Что такое привод?
2. Чем отличается гидродинамический привод от гидрообъемного?

3. Какова структура объемной гидropередачи?
4. Перечислите признаки, по которым классифицируют объемные гидроприводы.
5. Опишите путь рабочей жидкости при работе объемной гидropередачи.
6. Каковы преимущества гидропривода?
7. Каковы недостатки гидропривода?

3. НАСОСЫ И ГИДРОМАШИНЫ

3.1. Некоторые термины и определения

Насос — гидравлическая машина, в которой механическая энергия, приложенная к выходному валу, преобразуется в гидравлическую энергию потока рабочей жидкости.

Гидродвигатель — машина, в которой энергия потока рабочей жидкости преобразуется в энергию движения выходного звена. Если выходное звено получает вращательное движение, то такой гидродвигатель называют *гидромотором*, если поступательное, то *силовым цилиндром*.

Гидромашина, которая может работать в режиме насоса или гидромотора, называется *обратимой*.

Рабочий объем гидромашины в насосе — это объем жидкости, вытесняемый в систему за один оборот вала насоса; в гидромоторе — объем жидкости, необходимый для получения одного оборота вала гидромотора.

Гидролиния (магистраль) — это трубопровод, по которому транспортируется рабочая жидкость. Различают магистрали всасывающие, напорные, сливные и дренажные.

Производительность насоса (подача) — это отношение объема подаваемой жидкости ко времени.

Теоретическая производительность насоса Q_T — это расчетный объем жидкости, вытесняемый в единицу времени из его полости нагнетания.

Действительная производительность насоса Q_D уменьшается на величину ΔQ_H из-за обратного течения жидкости в насосе из полости нагнетания в полость всасывания и из-за утечки жидкости во внешнюю среду.

Объемные потери и объемный КПД гидромотора. При работе машины в режиме гидромотора в приемную его полость поступает жидкость под давлением от насоса. Объемные потери в гидромоторе сводятся в основном к утечкам жидкости через зазоры между сопрягаемыми элементами. Это приводит к тому, что подводимый объем жидкости Q_P превышает теоретическое значение Q_T .

Насосы делятся на две основные группы: объемные и лопастные. Объемные насосы работают по принципу вытеснения, поэтому у них области нагнетания и всасывания резко разграничены. В лопастных насосах области всасывания и нагнетания не имеют резкого разграничения, и давление жидкости повышается постепенно в процессе

движения из области всасывания в область нагнетания между лопатками вращающегося рабочего колеса. Лопастные насосы могут быть центробежными и вихревыми, объемные — поршневыми, шестеренными, пластинчатыми и др.

3.2. Центробежный насос

Центробежный насос состоит из рабочего колеса с лопатками, расположенными внутри корпуса (рис. 1). Рабочее колесо получает вращение от механизма и передает энергию жидкости, находящейся в корпусе насоса. Под действием центробежных сил жидкость перемещается от центра насоса в радиальном направлении и выталкивается в трубопровод. При вращении рабочего колеса жидкость, уходя от оси вращения, создает вакуум, который создает забор жидкости. По такой схеме обычно осуществляется принудительная циркуляция охлаждающей жидкости в системе охлаждения ДВС.

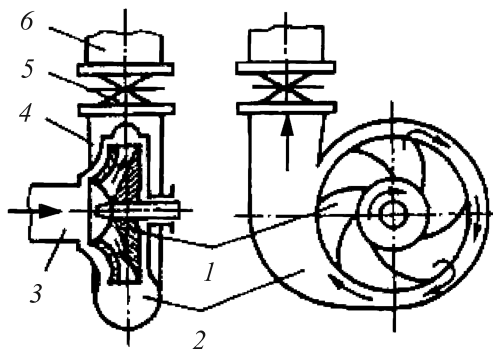


Рис. 1

Центробежный насос:

1 — ротор; 2 — корпус; 3 — впускной патрубок; 4 — выпускной патрубок, 5 — соединительный элемент; 6 — патрубок.

3.3. Вихревой насос

Вихревой насос включает цилиндрический корпус с двумя патрубками и ротор с радиальными лопатками (рис. 2). При вращении ротора жидкость, которая поступает через впускной патрубок, переносится по окружности к нагнетательному патрубку, завихряясь одновременно в полостях между лопастями. Вихревые насосы просты по конструкции, имеют малые габариты, могут создавать значительное давление. Их недостаток — малый КПД (0,25–0,50).

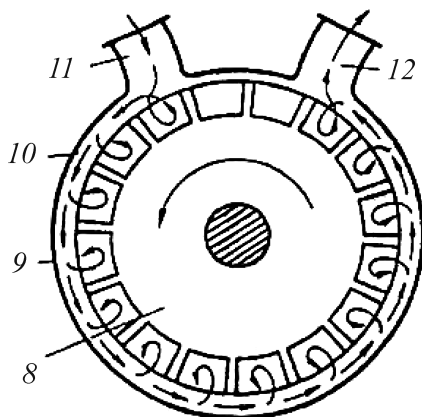


Рис. 2

Вихревой насос:

8 — ротор; 9 — статор; 10 — поток жидкости; 11 — впускной патрубок; 12 — выпускной патрубок.

3.4. Поршневой насос

Поршневой насос рассмотрим на примере главного тормозного цилиндра автомобиля ГАЗ-53А (рис. 3). Корпус 11 конструктивно объединен с резервуаром для жидкости. В цилиндре установлен поршень 14 с резиновыми манжетами 3 и 5. Пружина 13 отжимает поршень и манжету 5 в крайнее левое положение. Одновременно пружина 13 опирается на впускной клапан 7, в который вмонтирован впускной клапан 8. По окружности поршня выполнены стопорные отверстия 4, в цилиндре имеются перепускное отверстие 9 и компенсационное отверстие 10, соединяющие цилиндр с резервуаром для жидкости.

При нажатии на тормозную педаль 1 поршень перемещается вправо и после перекрытия манжетой компенсационного отверстия вытесняет тормозную жидкость к исполнительному механизму через открывшийся выпускной клапан 8 и штуцер 12.

После отпускания тормозной педали поршень под действием пружины 13 возвращается в крайнее левое положение, впускной клапан 7 открывается.

Тормозная жидкость из исполнительного механизма возвращается в главный тормозной цилиндр 15. Возможные утечки тормозной жидкости восполняются через компенсационное отверстие.

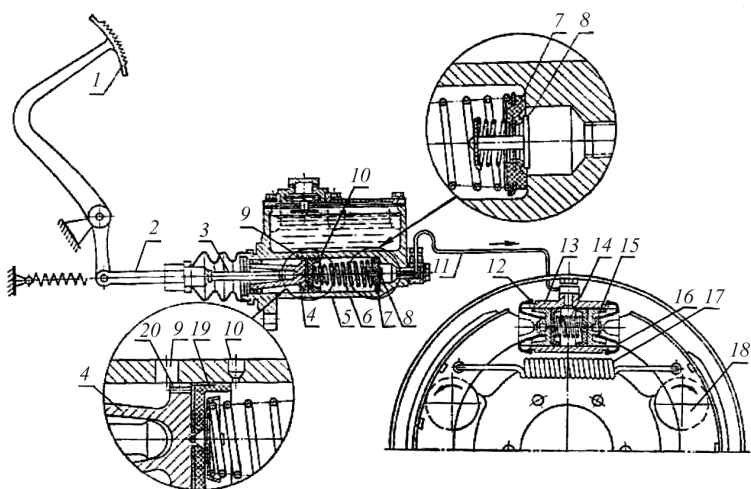


Рис. 3

Главный тормозной цилиндр автомобиля ГАЗ-53А

3.5. Гидравлические машины шестеренного типа

Шестеренные машины в современной технике нашли широкое применение. Их основным преимуществом является конструкционная простота, компактность, надежность в работе и сравнительно высокий КПД. В этих машинах отсутствуют рабочие органы, подверженные действию центробежной силы, что позволяет эксплуатировать их при частоте вращения до 20 с^{-1} .

Шестеренные насосы. Основная группа шестеренных насосов состоит из двух прямозубых шестерен внешнего зацепления. Применяются также и другие конструктивные схемы, например насосы с внутренним зацеплением.

Шестеренный насос с внешним зацеплением состоит из ведущей и ведомой шестерен, размещенных с небольшим зазором в корпусе. При вращении шестерен жидкость, заполнившая рабочие камеры (межзубовые пространства), переносится из полости всасывания в полость нагнетания. Здесь жидкость из пространства между зубьями выдавливается зубом другой шестерни, создавая избыточное давление, поскольку жидкости практически несжимаемы. Одновременно в другой полости, откуда переносилось масло, создается разрежение.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru