

Цель работы: ознакомление с основами гидравлики и гидропривода; изучение принципов работы и методов проектирования гидравлических схем различных устройств; изучение видов и свойств гидравлических жидкостей.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Гидравлика относится к числу древнейших наук. Первые гидравлические системы водоснабжения и ирригации были известны человеку задолго до нашей эры. Уже в Древнем Египте, Индии и Китае, странах Ближнего Востока умели строить на реках плотины и водяные мельницы, оросительные системы на рисовых полях, в которых использовались водоподъемные машины. В Риме за шесть столетий до нашей эры был построен водопровод, что свидетельствует о высокой технической культуре того времени. В III веке до нашей эры Архимед изобрел машину для подъема воды, названную «архимедовым винтом» и ставшую прообразом современных гидравлических насосов.

Очевидно, что техническое совершенствование гидравлических и пневматических систем не могло происходить без фундаментальных научных разработок, начало которым положил трактат Архимеда «О плавании тел».

В XV–XVII веках в трудах Леонардо да Винчи, Галилео Галилея, Исаака Ньютона были сформулированы отдельные законы равновесия и движения жидкости, а в середине XVIII века Д. Бернулли и Л. Эйлер заложили теоретические основы гидромеханики как науки.

В XIX–XX веках гидромеханика получила дальнейшее развитие в трудах Дж. Г. Стокса, О. Рейнольдса, Н. Е. Жуковского, Н. П. Петрова, Л. Прандтля и других ученых. Этот период характеризуется бурным развитием науки и техники, поэтому в трудах по гидромеханике большое внимание уделяется вопросам, представляющим практический интерес.

Формируется раздел гидромеханики, рассматривающий законы равновесия и движения жидкости в открытых и закрытых руслах и способы их применения для решения технических задач. Этот раздел гидромеханики получает название «гидравлика».

Таким образом, гидравликой называется наука о законах равновесия и движения жидкостей и способах приложения этих законов к решению практических задач. В гидравлике чаще всего рассматривается движение потоков жидкости, ограниченных твердыми стенками, то есть движение в открытых и закрытых руслах, каналах, трубопроводах и т. п.

Объектом изучения в гидравлике являются жидкости, чаще всего – так называемые капельные жидкости, то есть жидкости, которые в малых объемах под действием сил поверхностного натяжения приобретают сферическую форму.

В настоящее время жидкости находят очень широкое применение в изделиях машиностроения. Это смазывающие, охлаждающие жидкости, топлива, рабочие жидкости всевозможных гидроприводов и, наконец, объекты добычи (нефть, газовый конденсат, вода и др.). По этой причине знание свойств жидкостей и законов, которым они подчиняются, необходимо как изготовителям машиностроительной продукции, так и специалистам, занимающимся ее эксплуатацией.

Гидравлика, как прикладная наука, является научной основой для расчета и проектирования современных гидравлических и пневматических систем и их элементов.

Энергия давления жидкости очень широко используется в различных областях машиностроения, в частности в гидроприводе.

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

Трудно назвать отрасль современной промышленности, где бы не применялся гидропривод. Высокая эффективность, большие технические

возможности делают его почти универсальным средством, используемым в различных технологических процессах.

Гидроприводы применяются в металлургии и энергетике, в металлообработке и производстве изделий из пластмасс, в подъемно-транспортном и деревообрабатывающем оборудовании, в строительстве, производстве сельскохозяйственной техники, автомобилестроении и т. д.

Приводы в промышленном производстве обеспечивают прямолинейное или вращательное движение деталей и узлов, их поднимание или опускание, движение с нагрузкой, поддержание заданной скорости перемещения, ускорение, позиционирование, комбинирование производственных процессов и т. д. В зависимости от применяемого приводного двигателя различают электро-, гидро- и пневмоприводы. Каждый из этих приводов имеет свои достоинства и недостатки. В табл. 1.1 представлен сравнительный анализ приводов.

Таблица 1.1

Сравнительный анализ приводов

Параметры	Электроприводы	Гидроприводы	Пневмоприводы
Затраты на энергоснабжение	Низкие	Высокие	Очень высокие
Передача энергии	На неограниченное расстояние со скоростью света	На расстояние до 100 м, скорость – до 6 м/с, передача сигналов – до 100 м/с	На расстояние до 1000 м, скорость – до 40 м/с, передача сигналов – до 40 м/с
Накопление энергии	Затруднено	Ограничено	Легко осуществимо
Линейное перемещение	Затруднительно, дорого, низкие усилия	Просто, высокие усилия, хорошее регулирование скорости	Просто, невысокие усилия, скорость зависит от нагрузки
Вращательное движение	Просто, можно обеспечить высокие мощности	Просто, высокий вращающий момент, невысокие обороты	Просто, невысокий вращающий момент, высокая скорость вращения

Параметры	Электроприводы	Гидроприводы	Пневмоприводы
Рабочая скорость исполнительного механизма	Зависит от конкретных условий	До 0,5 м/с	2,5 м/с и выше
Усилия	Высокие, не допускаются перегрузки	До 3000 кН, защищены от перегрузок	До 30 кПа, защищены от перегрузок
Точность позиционирования	Плюс-минус 1 мкм и выше	До плюс-минус 1 мкм	До 0,1 мм
Жесткость	Высокая – при использовании механических промежуточных элементов	Высокая, так как масло практически несжимаемо	Низкая, так как газ сжимаем
Утечки и их последствия	Отсутствуют	Создают загрязнение, при наличии утечек пожароопасны	Вреда, кроме потерь энергии, нет, взрывобезопасны
Влияние окружающей среды	Практически нечувствительны к изменению температур	Чувствительны к изменению температур	Практически нечувствительны к колебаниям температуры

Основные преимущества гидропривода:

- большая передаваемая мощность на единицу массы привода;
- широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости выходного звена;
- точность позиционирования деталей;
- простота управления и автоматизации;
- простота предохранения приводного двигателя и исполнительных органов машин от перегрузок;
- высокая надежность, которая обеспечивается за счет смазки трущихся поверхностей при применении минеральных масел в качестве рабочих жидкостей.

Недостатки гидропривода:

- в процессе эксплуатации происходят утечки рабочей жидкости через уплотнения и зазоры, особенно при высоких значениях давления;
- нагрев рабочей жидкости, что в ряде случаев требует применения специальных охлаждающих устройств и средств тепловой защиты;
- необходимость обеспечения в процессе эксплуатации чистоты рабочей жидкости и защиты от проникновения в нее воздуха;
- пожароопасность (в случае применения горючей рабочей жидкости).

Однако при правильном конструировании узлов привода и грамотной его эксплуатации некоторые из перечисленных недостатков можно устранить или значительно уменьшить их негативное влияние.

По принципу действия гидроприводы бывают динамического (гидротурбина, водяное колесо) и объемного типа. В промышленности в основном применяются гидроприводы объемного типа.

В объемных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости. Объемный гидропривод состоит из гидропередачи, устройств управления, вспомогательных устройств и гидролиний (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема объемного гидропривода

Объемная гидropередача, являющаяся силовой частью гидропривода, состоит из объемного насоса (преобразователя механической энергии приводящего двигателя в энергию потока рабочей жидкости) и объемного гидродвигателя (преобразователя энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена).

В состав некоторых объемных гидropередач входит гидроаккумулятор (гидроемкость, предназначенная для аккумуляирования энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением, с целью последующего ее использования для включения в работу гидродвигателя). Кроме того, в состав гидropередач могут входить гидropреобразователи – 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 .

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), 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.

Вспомогательные устройства обеспечивают надежную работу всех элементов гидропривода. К ним относятся: кондиционеры рабочей жидкости (фильтры, теплообменные аппараты и др.), уплотнители, 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.

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.

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

По характеру движения выходного звена гидродвигателя:

- гидропривод вращательного движения (рис. 1.2), в котором в качестве гидродвигателя применяется гидромотор с неограниченным вращательным движением ведомого звена (вала или корпуса);
- гидропривод поступательного движения (рис. 1.3), в котором в качестве гидродвигателя применяется гидроцилиндр – двигатель с возвратно-поступательным движением ведомого звена (штока поршня, плунжера или корпуса);
- гидропривод поворотного движения (рис. 1.4), в котором в качестве гидродвигателя применен поворотный гидроцилиндр, ведомое звено (вал или корпус) которого совершает возвратно-поворотное движение на угол меньше 360° .

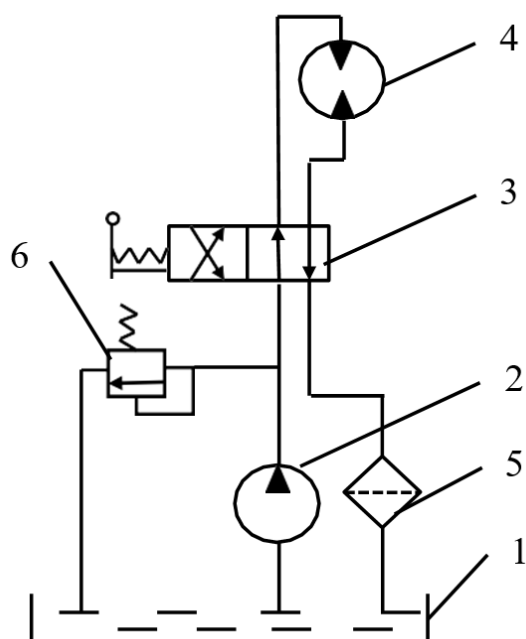


Рис. 1.2. Схема гидропривода с выходным звеном вращательного движения:
 1 – гидробак; 2 – насос; 3 – гидрораспределитель; 4 – гидромотор;
 5 – фильтр; 6 – редукционный клапан

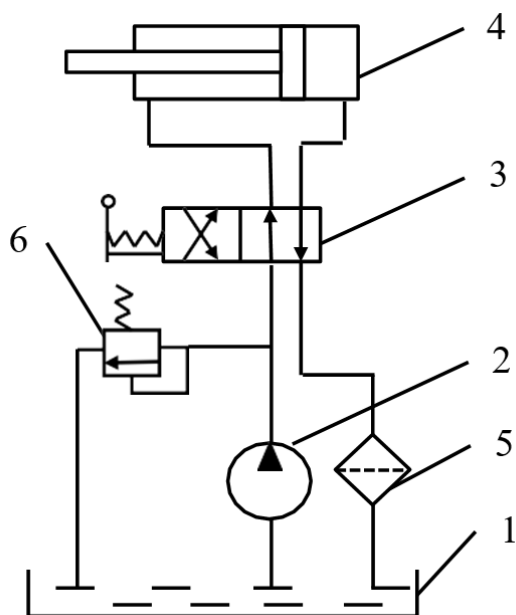


Рис. 1.3. Схема гидропривода с выходным звеном
 возвратно-поступательного движения:
 1 – гидробак; 2 – насос; 3 – гидрораспределитель;
 4 – гидроцилиндр; 5 – фильтр; 6 – редукционный клапан

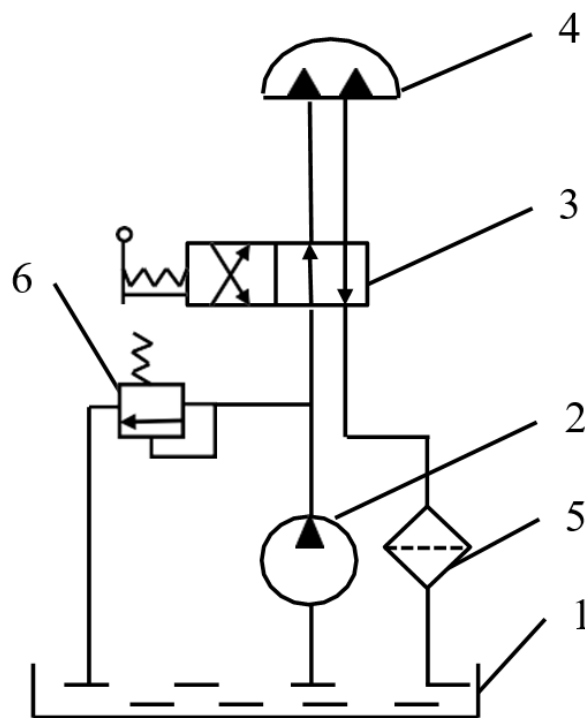


Рис. 1.4. Схема гидропривода с выходным звеном поворотного движения:

1 – гидробак; 2 – насос; 3 – гидрораспределитель;
4 – поворотный гидроцилиндр; 5 – фильтр; 6 – редукционный клапан

По возможности регулирования:

- регулируемый гидропривод, в котором в процессе его эксплуатации скорость выходного звена гидродвигателя можно изменять по требуемому закону. В свою очередь, регулирование может быть дроссельным (рис. 1.5, *а*), объемным (рис. 1.5, *б*), объемно-дроссельным. Регулирование может быть ручным или автоматическим. В зависимости от задач регулирования гидропривод может быть стабилизированным, программным или следящим;

- нерегулируемый гидропривод, у которого нельзя изменять скорость движения выходного звена гидروпередатчи в процессе эксплуатации.

По схеме циркуляции рабочей жидкости:

- гидропривод с замкнутой схемой циркуляции (рис. 1.6), 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 сливать из гидросистемы рабочую жидкость при замене или ремонте гидроаппаратуры;

– гидропривод с разомкнутой системой циркуляции (рис. 1.5), в котором рабочая жидкость постоянно сообщается с гидробаком или атмосферой. Преимущество такой схемы – хорошие условия для охлаждения и очистки рабочей жидкости. Однако такие гидроприводы громоздки и имеют большую массу, а частота вращения ротора насоса ограничивается допустимыми (из условий бескавитационной работы насоса) скоростями движения рабочей жидкости во всасывающем трубопроводе.

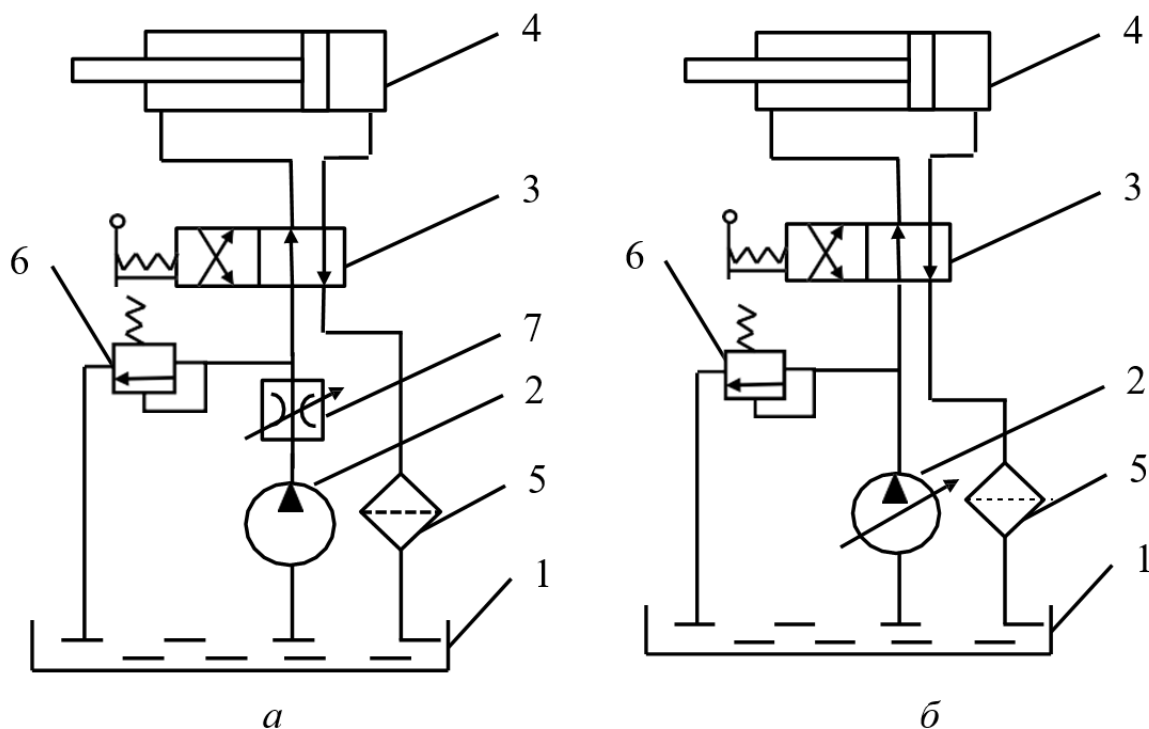


Рис. 1.5. Схемы гидроприводов с дроссельным (а) и объемным (б) регулированием:

1 – гидробак; 2 – насос; 3 – гидрораспределитель;
4 – поворотный гидроцилиндр; 5 – фильтр;
6 – редукционный клапан; 7 – дроссель

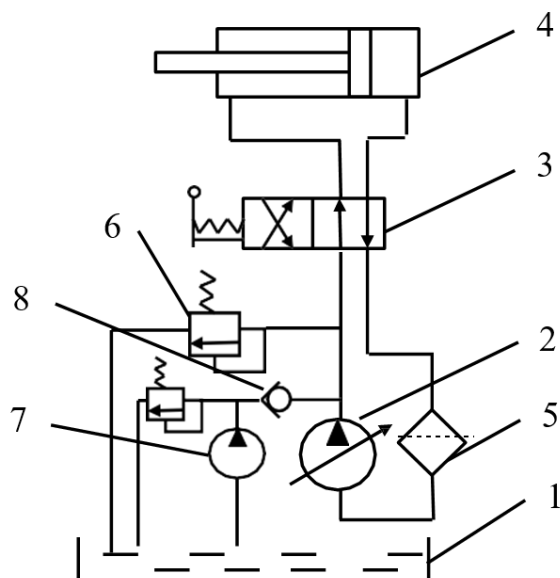


Рис. 1.6. Схема гидропривода с замкнутой системой циркуляции:

- 1 – гидробак; 2 – насос; 3 – гидрораспределитель;
 4 – гидроцилиндр; 5 – фильтр; 6 – редукционный клапан;
 7 – подпитывающий насос; 8 – обратный клапан

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.

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

Гидравлические символы и стандарты

Принципиальная схема пневмогидравлического объекта определяет состав его элементов, связи между ними и дает полное представление о принципах работы изделия. Для обозначения каждого из входящих в схему элементов (узлов) используют простые символы, которые назы-

ваются условными обозначениями. Каждый символ в какой-то мере отражает функцию или конструкцию элемента схемы. Наличие косой стрелки, перечеркивающей тот или иной символ, означает, что для данного конструктивного элемента существует возможность настройки. Выполнять схемы желательно так, чтобы меньше было пересечений линий связи.

Корректно выполненная принципиальная схема облегчает разработку конструкции объекта, отдельных его агрегатов, а также используется при эксплуатации и ремонте гидропневматических объектов.

Все гидравлические и пневматические аппараты, устройства управления и контрольно-измерительные приборы обозначаются на гидравлических схемах по ГОСТ 2.781–96. Также имеется международный стандарт DIN ISO 1219.

Ниже приведены условные обозначения, установленные международным стандартом DIN ISO 1219.

Гидронасосы и гидромоторы

Гидронасосы и гидромоторы изображают на схемах окружностями с обозначением ведущего или ведомого валов. На направление потока рабочей жидкости указывает треугольник, расположенной внутри окружности.

Треугольник зачернен, если символы используют для обозначения гидравлических систем, в которых рабочей средой являются жидкости. Если же речь идет о газообразных средах, как это имеет место в пневматических системах, изображаются лишь контурные треугольники. Символы для обозначения гидромоторов отличаются от символов, обозначающих гидронасосы, только противоположной направленностью стрелок для указания направления потока рабочей жидкости. На рис. 1.7 представлены условные обозначения нерегулируемых гидронасосов и гидромоторов.

Распределители

Распределители изображают на схемах несколькими квадратами, расположенными вплотную друг к другу. Число квадратов указывает на количество возможных положений распределителя. Стрелки в квадратах указывают направление протекания рабочей жидкости.

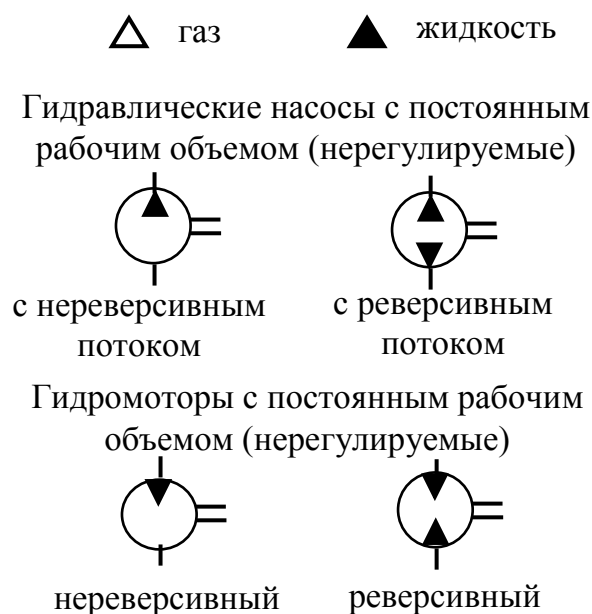


Рис. 1.7. Условные обозначения нерегулируемых гидронасосов и гидромоторов

Линии показывают, каким образом связаны между собой каналы распределителя в различных его положениях.

Для условного обозначения входов и выходов (штуцеров) на распределителях пользуются либо буквами Р, Т, А, В и L, либо подряд буквами А, В, С, D..., причем первый вариант задается стандартом в качестве предпочтительного. Условные обозначения всегда относятся к нейтральному положению распределителя. В тех случаях, когда клапан такого положения не имеет, обозначение относится к положению, которое распределитель занимает в исходном состоянии гидросистемы.

Нейтральным является такое положение распределителя, которое он занимает автоматически после прекращения действия управляющей силы.

В названии распределителей всегда сначала указывают количество присоединяемых линий, а затем – количество положений, которые они могут принимать. Распределители имеют как минимум два положения и не менее двух присоединительных штуцеров.

В этом случае обозначение распределителя выглядит так: распределитель 2/2 (читается как «распределитель два на два»). Другие возможные распределители и их условные обозначения представлены на рис. 1.8.

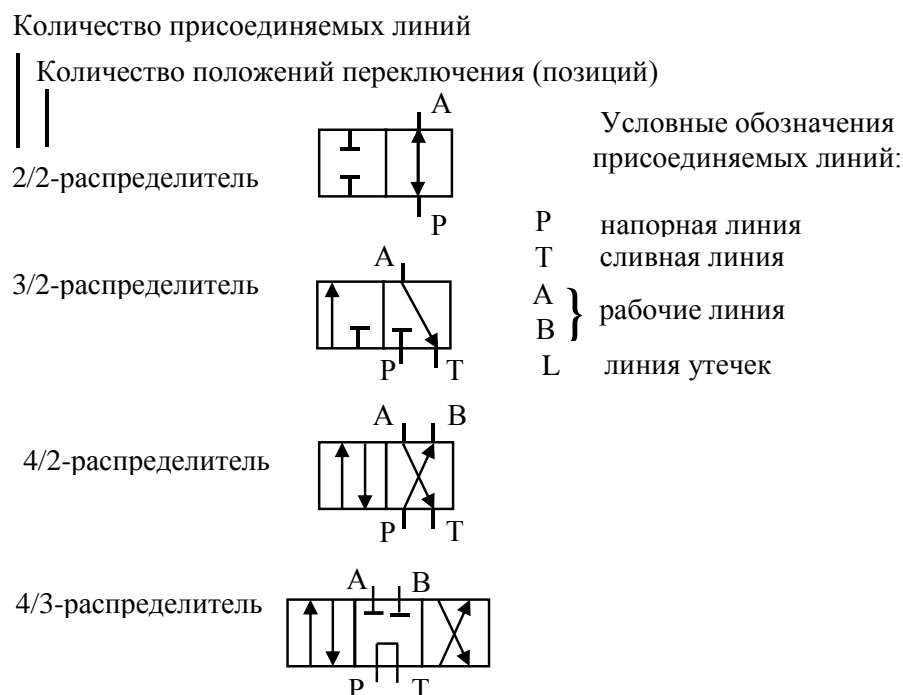


Рис. 1.8. Условные обозначения распределителей

Способы управляющего воздействия

Положение золотника распределителя можно изменять посредством различных управляющих воздействий (рис. 1.9). Условное изображение дополняется символом для обозначения способа такого воздействия. При некоторых из представленных способов управляющего воздействия, например посредством ручной кнопки, педали, толкателя, обязательно предусмотрена пружина, предназначенная для возврата распределителя в исходное положение. У распределителя с рукояткой и фиксатором возврат в исходное положение может осуществляться повторным нажатием рукоятки.

Клапаны давления

Клапаны давления (рис. 1.10) изображают на схемах квадратом. Стрелка в квадрате указывает направление течения рабочей жидкости. Присоединяемые к клапанам линии могут обозначаться буквами Р (подвод давления) и Т (присоединение к баку) или буквами А и В. Положение стрелки в квадрате указывает, какому состоянию (открытому или закрытому) соответствует нейтральное положение клапана.

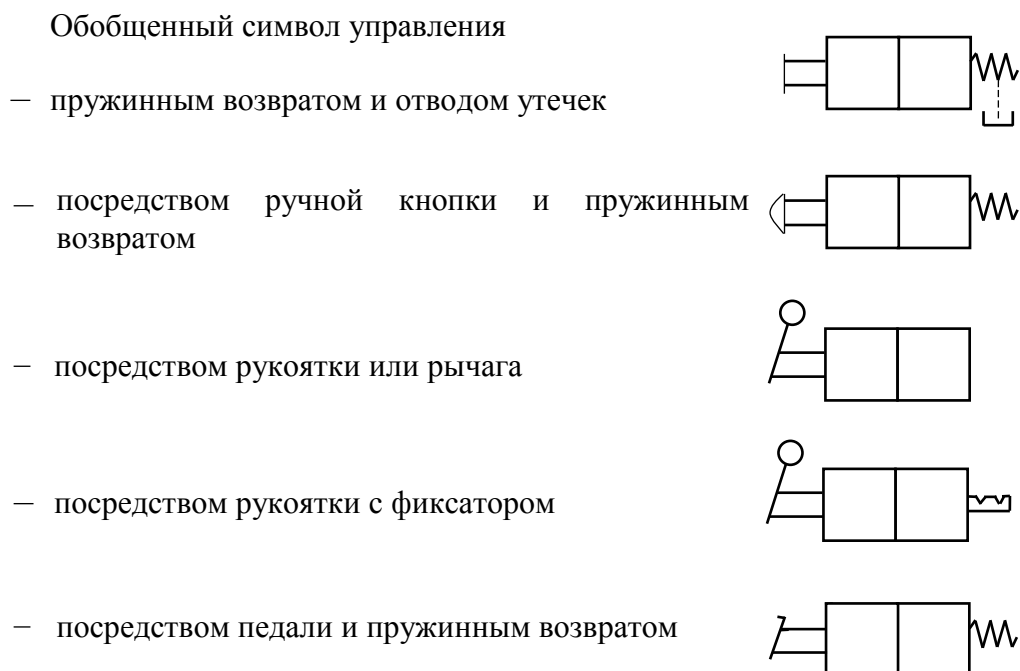


Рис. 1.9. Условные обозначения управляющих воздействий

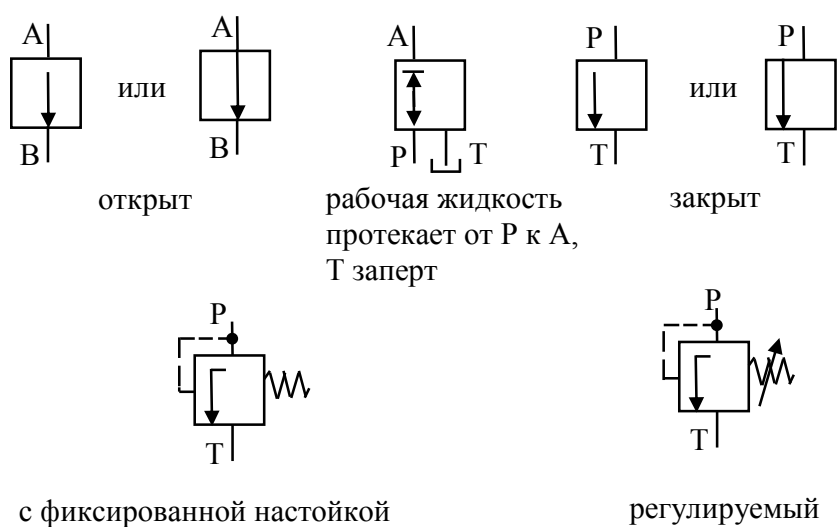


Рис. 1.10. Условные обозначения клапанов

Клапаны давления подразделяются на напорные и редукционные (рис. 1.11).

Напорный клапан давления в нейтральном положении закрыт и реагирует на величину управляющего давления на входе. Это давление на управляющую линию, отходящую от входа, воздействует в клапане

на поверхность поршня, который удерживается усилием пружины, противодействующим давлению. Если сила, являющаяся результатом воздействия давления на поверхность поршня, превышает усилие пружины, клапан открывается. Таким образом, клапан может быть настроен на определенное фиксированное значение давления.

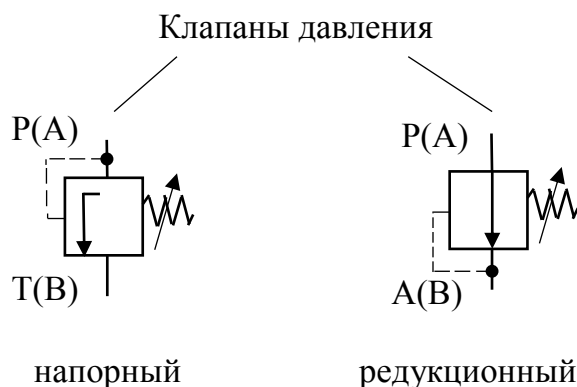


Рис. 1.11. Условные обозначения напорного и редукционного клапанов

Редукционный клапан в нейтральном положении открыт, реагирует на величину управляющего давления на выходе. Это давление через управляющую линию воздействует в клапане на поверхность поршня и создает силу, которой противодействует усилие пружины. Если создаваемое давлением на выходе усилие становится больше усилия пружины, клапан начинает закрываться. Процесс закрытия вызывает падение давления на участке от входа к выходу клапана. При достижении давлением на выходе некоторой определенной величины клапан закрывается полностью. На входе этого клапана устанавливается максимальное давление, соответствующее поддерживаемому в гидросистеме, а на выходе – пониженное. Следовательно, редукционный клапан может быть настроен только на давление меньшее, чем то, на которое может быть настроен напорный клапан.

Гидроаппараты управления расходом

К ним относятся прежде всего дроссели и регуляторы расхода. Различают дроссели, свойства которых зависят от вязкости рабочей жидкости, и дроссели, устойчивые по отношению к изменению вязкости рабочей

жидкости. Дроссели последнего типа называют диафрагмами. Дроссели являются гидравлическими сопротивлениями в гидросистеме.

Двухлинейный регулятор расхода состоит из двух дросселей, из которых один является регулируемым (настроечным), устойчивым к изменению вязкости жидкости (диафрагмой), а другой – регулирующим дросселирующим элементом. Его дросселирующая щель меняется при изменении давлений. Регуляторы расхода этого типа условно обозначают прямоугольниками, в которых изображают символ постоянного дросселя и стрелку для клапана постоянной разности давлений (рис. 1.12). Стрелка, проходящая наискось через прямоугольник, указывает, что гидроаппарат является регулируемым. Детальное изображение двухлинейного регулятора расхода показано на рис. 1.13.

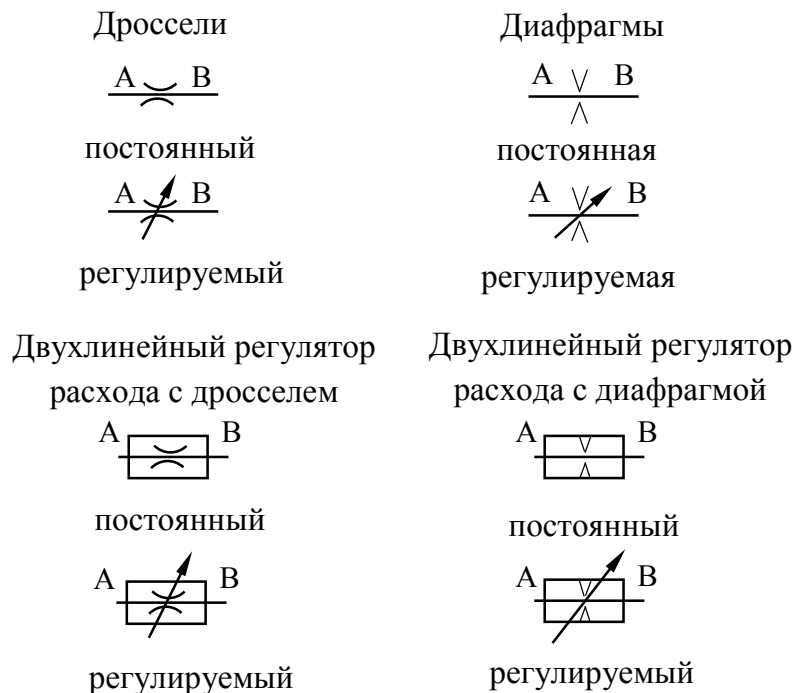


Рис. 1.12. Условные обозначение гидроаппаратов управления расходом

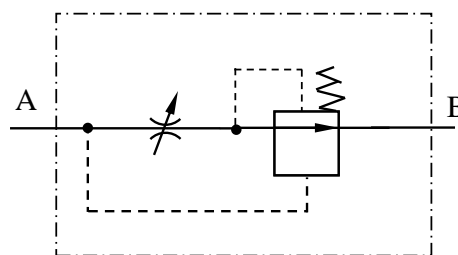


Рис. 1.13. Двухлинейный регулятор расхода

Запорные клапаны

Обратные гидроклапаны (рис. 1.14) символически изображают в виде шарика, который плотно прижат к седлу. Само это седло рисуется в форме открытого треугольника, в котором находится шарик. Разумеется, вершина этого треугольника указывает не направление протекания рабочей жидкости, а направление, в котором клапан заперт для потока жидкости.

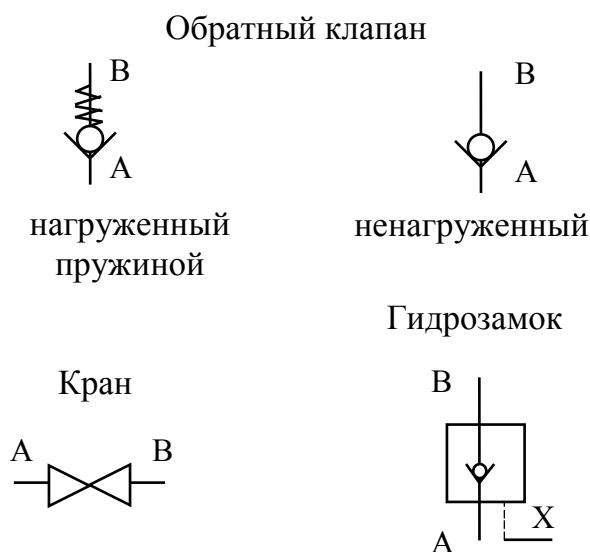


Рис. 1.14. Условные обозначения запорных клапанов

Гидрозамки изображают в виде квадрата, в который помещен символ для условного обозначения обратного клапана. На возможность управления таким клапаном указывает подвод управляющего трубопровода, изображаемого на схеме пунктирной линией. Штуцер для подсоединения управляющей линии обозначают буквой X.

Гидроаппараты, запорно-регулирующим элементом которых является кран, условно обозначают на схемах двумя треугольниками, направленными друг к другу вершинами. У этих гидроаппаратов любое из промежуточных положений проходного сечения можно получать с помощью соответствующей рукоятки. Иначе говоря, речь идет о плавно регулируемых гидроаппаратах, имеющих много положений регулирования. Такие запорные краны могут быть использованы в качестве дросселей.

Гидроцилиндры

Различают гидроцилиндры одностороннего (рис. 1.15) и двухстороннего (рис. 1.16) действия. В гидроцилиндрах одностороннего действия предусмотрен только один присоединительный штуцер, т. е. воздействию рабочей жидкости подвергается только передняя поверхность поршня.

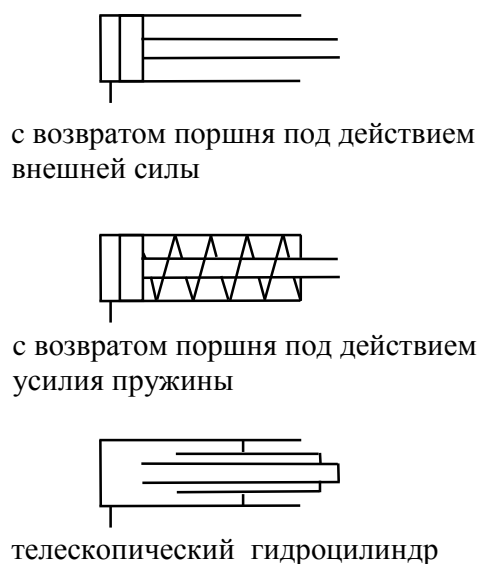
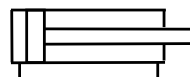


Рис. 1.15. Условные обозначения гидроцилиндров одностороннего действия

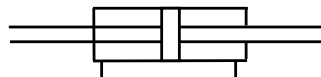
Возврат поршня у таких гидроцилиндров осуществляется либо под действием внешних сил (на схеме в таких случаях цилиндры изображают без опорной крышки), либо под действием пружины (при этом пружину изображают соответствующим символом).

Гидроцилиндры двухстороннего действия имеют два штуцера для подачи рабочей жидкости в обе полости цилиндра. Символ для условного обозначения гидроцилиндра двухстороннего действия с односторонним штоком иллюстрирует его особенность: передняя поверхность поршня по площади больше, чем поверхность поршня со стороны штока. Для цилиндров же с двухсторонним штоком по условному обозначению на схеме нетрудно заметить, что площадь поверхности поршня с обеих сторон одинакова (гидроцилиндры, обеспечивающие равные скорости перемещения в обоих направлениях).

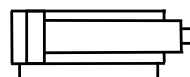
с односторонним штоком



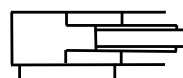
с двухсторонним штоком



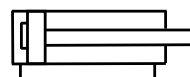
дифференциальный гидроцилиндр



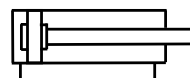
телескопический гидроцилиндр



с односторонним демпфированием поршня в конечном положении



с демпфированием поршня в конечных положениях



с регулируемым демпфированием поршня в конечных положениях

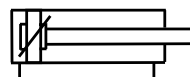


Рис. 1.16. Условные обозначения гидроцилиндров двухстороннего действия

Условное обозначение дифференциального гидроцилиндра отличается от символа гидроцилиндра двухстороннего действия двумя штрихами, наносимыми на изображение конца штока поршня. Соотношение площадей поршня в этом случае составляет 2:1.

Телескопические гидроцилиндры двухстороннего действия, как и такие же гидроцилиндры одностороннего действия, условно обозначаются на схемах в виде поршней, вставленных один в другой.

Для условного обозначения гидроцилиндра с демпфированием в конечных положениях на схемах используют прямоугольники, изображаемые на поршне.

Передача энергии и подготовка рабочего тела

Для условного обозначения передачи энергии и подготовки среды, передающей давление (рабочего тела), на схемах соединений применяют символы, представленные на рис. 1.17.

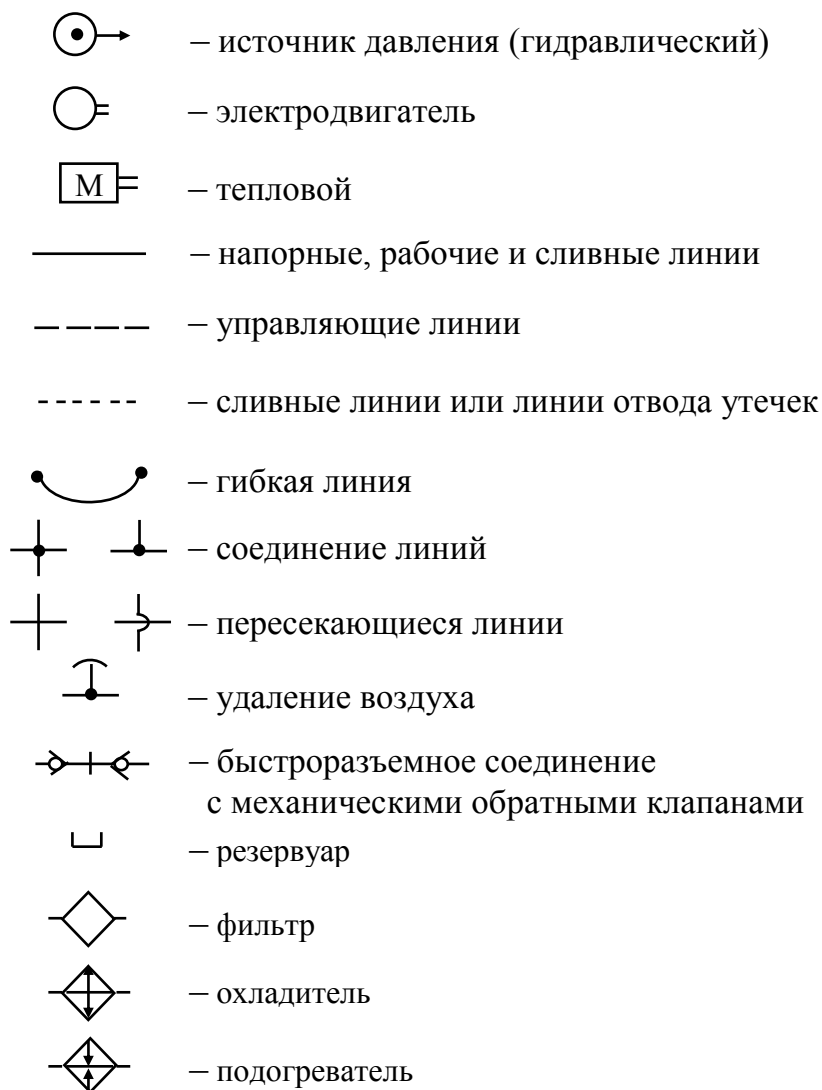


Рис. 1.17. Символы, используемые для условного обозначения передачи энергии и подготовки рабочего тела

Измерительные приборы

Измерительные приборы на схемах соединений условно обозначают символами, представленными на рис. 1.18.

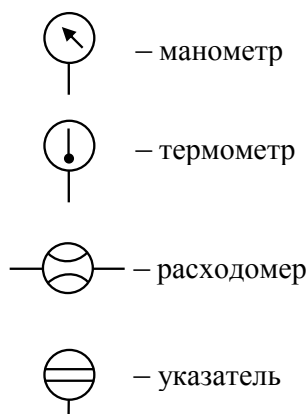


Рис. 1.18. Условные обозначения измерительных приборов

Обозначение остальных гидравлических и пневматических аппаратов можно посмотреть в DIN ISO 1219.

Физические основы гидравлики

Для изучения принципов функционирования элементов гидропривода необходимо знать физические основы гидравлики.

К основным свойствам жидкости относятся: плотность, вязкость, поверхностное натяжение.

Плотность жидкостей

Под плотностью жидкости понимают массу жидкости, заключенную в единице объема:

$$\rho = \frac{M}{V}, \quad (1.1)$$

где M – масса жидкости в объеме V .

Согласно принятой гипотезе сплошности, масса жидкости распределена в объеме непрерывно и в общем случае неравномерно.

Вследствие этого помимо средней плотности, определяемой по выражению (1.1), плотность среды в произвольной точке определится как

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V}. \quad (1.2)$$

Предел берется при стягивании объема ΔV к точке.

Наряду с плотностью широко используется понятие удельного объема, который является величиной, обратной плотности:

$$\upsilon = \frac{1}{\rho}. \quad (1.3)$$

Плотность жидкости меняется с изменением давления и температуры. Эта зависимость существенно различается для капельных жидкостей и газов.

Сжимаемость капельных жидкостей под действием давления характеризуется коэффициентом объемного сжатия β_V , который представляет собой относительное изменение объема жидкости на единицу изменения давления:

$$\beta_V = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p}, \quad (1.4)$$

где V – первоначальный объем жидкости; ΔV – изменение этого объема при увеличении давления на Δp .

При увеличении давления происходит уменьшение объема жидкости, чем и объясняется знак «минус».

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия, представляет собой модуль упругости жидкости:

$$E_0 = \frac{1}{\beta_V}. \quad (1.5)$$

Коэффициенты β_V и, следовательно, E_0 слабо изменяются при изменении температуры и давления для капельных жидкостей, и средние значения для воды составляют соответственно: $\beta_V = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$; $E_0 = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

Прочность жидкости на разрыв весьма мала и в практических расчетах не учитывается.

Температурное расширение капельных жидкостей характеризуется коэффициентом температурного расширения, выражающим относительное увеличение объема жидкости при увеличении температуры на ΔT :

$$\beta_T = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T}. \quad (1.6)$$

Коэффициент температурного расширения для капельных жидкостей незначителен также для воды и при температуре от 283 до 293 К и давлении 0,10 МПа составляет $\beta_T = 0,00015 \text{ K}^{-1}$.

С учетом вышеизложенного, изменение плотности жидкости при изменении температуры запишется в виде:

$$\rho_T = \rho_0 \frac{1}{1 + \beta_T (T - T_0)}. \quad (1.7)$$

Для идеальных газов изменение плотности при изменении давления и температуры определится как

$$\rho = \rho_0 \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}. \quad (1.8)$$

Вязкость жидкостей

Свойство жидкостей оказывать сопротивление сдвигу называется вязкостью. При движении жидкости происходит относительное перемещение частиц, что приводит к появлению силы трения между ними, причем количественное значение ее пропорционально вязкости жидкости. Рассмотрим движение жидкости вдоль плоской стенки (рис. 1.19). При ламинарном движении жидкость движется параллельными слоями, скорость которых вследствие тормозящего эффекта уменьшается от максимального значения до нуля по мере приближения к стенке.

Рассматривая два слоя жидкости, А и В, расположенных друг от друга на расстоянии Δy , нетрудно заметить, что значение их скоростей отличается на величину Δu . Величина Δu за единицу времени представляет со-

бой абсолютный сдвиг слоя В по слою А, а отношение $\Delta u / \Delta y$ представляет собой градиент скорости, или относительный сдвиг.

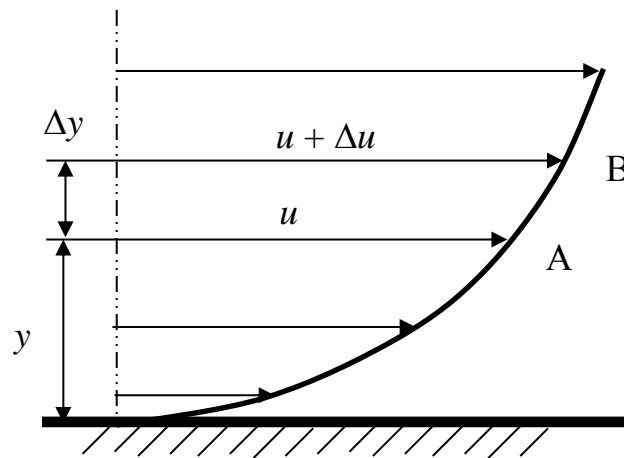


Рис. 1.19. Движение жидкости вдоль плоской стенки

Силу трения на единицу площади, представляющую собой величину касательного напряжения τ , можно определить как

$$\tau = \mu \frac{\Delta u}{\Delta y}. \quad (1.9)$$

В том случае, если слои будут находиться на бесконечно малом расстоянии друг от друга, величина τ определится как

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}. \quad (1.10)$$

Коэффициент μ характеризует сопротивляемость жидкости сдвигу и называется абсолютной или динамической вязкостью.

Первым на существование зависимости между касательным напряжением и градиентом скорости указал Ньютон, и поэтому она называется законом трения Ньютона.

Полную силу трения можно определить как

$$T = \mu S \frac{du}{dy}, \quad (1.11)$$

где S – площадь трущихся слоев.

В том случае, когда градиент скорости отрицателен, в записанных выше формулах в правой части ставится знак «минус».

Наряду с коэффициентом динамической вязкости μ в гидрогазодинамике широко используется понятие коэффициента кинематической вязкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (1.12)$$

Название кинематической вязкость получила вследствие того, что в ее размерности отсутствуют единицы силы. Динамическая вязкость имеет размерность Па·с, а кинематическая вязкость – м²/с.

Необходимо отметить, что с увеличением температуры вязкость капельных жидкостей уменьшается, причем весьма значительно, а вязкость газов увеличивается. Это объясняется тем, что с увеличением температуры газа интенсивность теплового движения молекул возрастает, что приводит к увеличению вязкости. В капельных жидкостях молекулы не могут двигаться в разных направлениях, а могут только колебаться вокруг своего среднего положения. С увеличением температуры средние скорости колебательных движений молекул увеличиваются, тем самым ослабляются удерживающие связи и приобретает большая подвижность молекул, а это приводит к уменьшению вязкости. Для чистой пресной воды зависимость динамической вязкости от температуры определяется по формуле Пуазёйля:

$$\mu = \frac{0,0179}{1 + 0,0368t + 0,000221t^2}. \quad (1.13)$$

С увеличением температуры от 0 до 100 °С динамическая вязкость воды уменьшается почти в 7 раз. Вода принадлежит к наименее вязким жидкостям. Наименьшую вязкость имеет жидкая углекислота (в 50 раз меньше вязкости воды).

Поверхностное натяжение

При контакте капельной жидкости с другой капельной жидкостью, газом или твердым телом молекулы жидкости, расположенные на поверх-

ности, находятся в условиях, отличных от условий, в которых находятся молекулы внутри жидкости, так как последние окружены молекулами со всех сторон. Вследствие этого энергия поверхностных молекул отличается от энергии молекул в объеме жидкости на величину, называемую поверхностной энергией. Эта энергия пропорциональна площади поверхности раздела S :

$$\mathcal{E}_n = \sigma S, \quad (1.14)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, зависящий от природы соприкасающихся сред.

Коэффициент поверхностного натяжения можно представить в виде:

$$\sigma = \frac{F}{l}, \quad (1.15)$$

где F – сила поверхностного натяжения; l – длина линии, ограничивающей поверхность раздела.

Поверхностное натяжение жидкости чувствительно к ее чистоте и температуре. При увеличении температуры поверхностное натяжение жидкости уменьшается, а в критической точке, где отсутствует различие между паром и жидкостью, равно нулю. Вещества, способствующие повышению поверхностного натяжения, называются поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Гидростатическое давление. Закон Паскаля

Выделим в сосуде с жидкостью на глубине h площадку Δf и спроектируем ее на свободную поверхность (рис. 1.20).

Получим параллелепипед с равными верхним и нижним основаниями. На нижнее основание действует сила гидростатического давления ΔP , равная весу выделенного столба:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot V = \rho \cdot g \cdot \Delta f \cdot h. \quad (1.16)$$

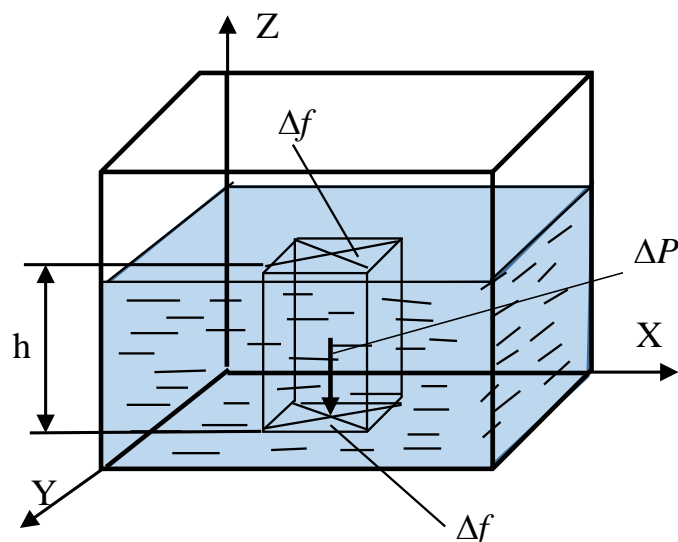


Рис. 1.20. Сосуд с жидкостью

Отношение этой силы к площади площадки Δf , на которую она действует, называется средним гидростатическим давлением:

$$p_{\text{ср}} = \frac{\Delta P}{\Delta f} = \rho \cdot g \cdot h. \quad (1.17)$$

Гидростатическое давление p – это скалярная величина, характеризующая напряженное состояние жидкости. Давление равно модулю нормального напряжения в точке $p = |\sigma|$.

Давление в системе СИ измеряется в паскалях: $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$.

Связь единиц давления в различных системах измерения такая:

$$100\,000 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа} = 1 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 1 \text{ ат} = 10 \text{ м вод. ст.}$$

Два свойства гидростатического давления:

1. Давление в покоящейся жидкости на контакте с твердым телом вызывает напряжения, направленные перпендикулярно к поверхности раздела.

2. Давление в любой точке жидкости действует одинаково по всем направлениям. Это свойство отражает скалярность давления.

В случае равновесия жидкости в поле земного тяготения $x = 0$; $y = 0$; $z = -g$.

Тогда основное дифференциальное уравнение гидростатики запишется в виде:

$$dp = -r \cdot g \cdot d \cdot z. \quad (1.18)$$

Интегрируя данное уравнение, получаем:

$$\frac{p}{\rho g} + z = C = \text{const}. \quad (1.19)$$

Для определения постоянной интегрирования C рассмотрим резервуар, наполненный водой (рис. 1.21), со свободной поверхностью.

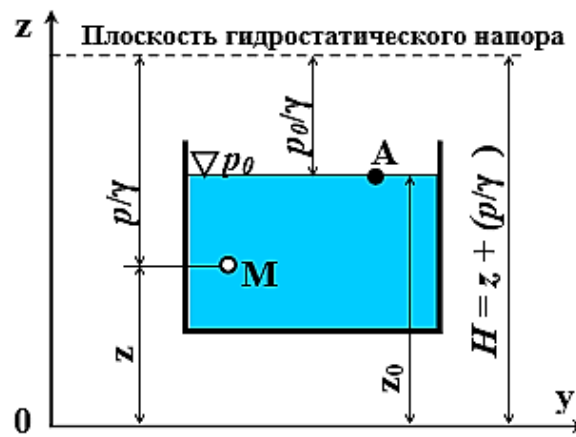


Рис. 1.21. Схема к выводу уравнения гидростатики

Тогда для точки А, лежащей на поверхности, $p = p_0$ и $z = z_0$.

Произвольная интегрирования C уравнения (1.19) определится как

$$C = \frac{p_0}{\gamma} + z_0, \quad (1.20)$$

и уравнение (1.18) запишется в виде:

$$\frac{p}{\gamma} + z = \frac{p_0}{\gamma} + z_0, \quad (1.21)$$

или

$$p = p_0 + \gamma(z_0 - z). \quad (1.22)$$

Данное уравнение называют основным уравнением гидростатики.

Величины z и p/γ часто называют в гидростатике геометрической и пьезометрической высотами.

Величина $H = C$, определяемая как сумма двух высот, называется гидростатическим напором.

Принимая во внимание, что разность $(z_0 - z)$ представляет собой глубину h погружения данной точки под уровень свободной поверхности, основное уравнение гидростатики можно записать в виде

$$p = p_0 + \gamma \cdot h. \quad (1.23)$$

Необходимо отметить, что полученное выражение можно трактовать так: сумма удельной потенциальной энергии положения z и удельной потенциальной энергии давления p/γ есть величина постоянная во всех точках данной покоящейся массы жидкости. Из записанного выше уравнения следует, что в любой точке жидкости (на любой глубине h) гидростатическое давление p зависит от величины внешнего давления p_0 на свободной поверхности. При увеличении внешнего давления точно на ту же величину увеличится и давление в данной точке. Таким образом, согласно закону Паскаля, жидкость обладает свойством передавать внешнее давление всем расположенным внутри нее частицам без изменения.

Использования закона Паскаля можно рассмотреть на примере гидравлического пресса (рис. 1.22).

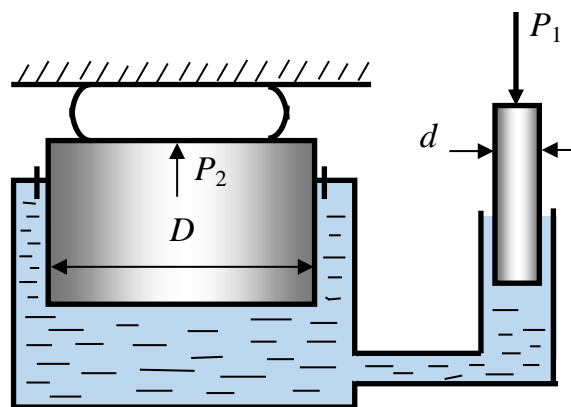


Рис. 1.22. Гидравлический пресс

Особенностью работы пресса является возможность создания больших усилий на рабочем поршне при небольших исходных усилиях.

Согласно закону Паскаля, давление, развиваемое силой P_1 , передается на рабочий поршень, создавая полезную силу P_2 , равную:

$$P_2 = p \cdot F = \frac{P_1}{f} \cdot F = \frac{4 \cdot P_1}{\pi \cdot d^2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = P_1 \cdot \frac{D^2}{d^2}. \quad (1.24)$$

Таким образом, усилие, с которым мы действуем на вспомогательный поршень, увеличивается пропорционально отношению квадратов диаметров поршней.

Уравнение неразрывности потока

Уравнение неразрывности потока отражает закон сохранения массы: количество втекающей жидкости равно количеству вытекающей. Например, на рис. 1.23 расходы во входном и выходном сечениях трубы равны: $q_1 = q_2$.

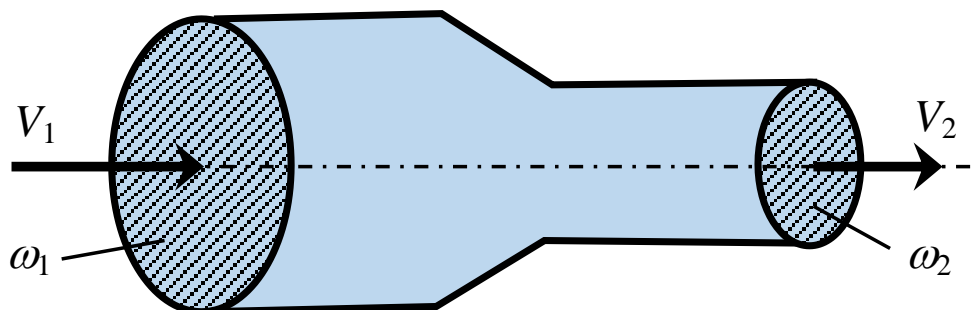


Рис. 1.23. Схема к уравнению неразрывности потока

Учитывая, что $q = V \cdot \omega$, получим уравнение неразрывности потока:

$$V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2. \quad (1.25)$$

А если выразим скорость для выходного сечения:

$$V_2 = V_1 \cdot \omega_1 / \omega_2, \quad (1.26)$$

то можно заметить, что она увеличивается обратно пропорционально уменьшению площади живого сечения потока. Такая обратная зависимость между скоростью и площадью является важным следствием уравнения неразрывности и применяется в технике, например при тушении пожара для получения сильной и дальнобойной струи воды.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задание

- Ознакомиться и кратко законспектировать общие сведения об основах гидравлики и гидропривода.
- Изучить условия задач и самостоятельно их решить.
- Ответить на контрольные вопросы.

Условия задач

1. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на расстояние $h_1 = 0,2$ м, а большой поршень поднимается на высоту $h_2 = 0,01$ м. С какой силой F_2 действует пресс на зажатое в нем тело, если на малый поршень действует сила $F_1 = 500$ Н?

2. Определить давление бензина на дно цистерны, если высота столба бензина 2,4 м, а его плотность 710 кг/м^3 .

3. В цилиндре с маслом на поршень действует сила 40 Н. Чему равна сила давления на внутреннюю поверхность цилиндра площадью 8 дм^2 ? Площадь поршня $2,5 \text{ см}^2$. Вес масла не учитывайте.

4. Площадь малого поршня гидравлического пресса равна 10 см^2 , большого – 50 см^2 . На малый поршень поместили гирю массой 1 кг. Какой груз нужно поместить на большой поршень, чтобы жидкость осталась в равновесии?

5. На какой глубине давление воды в море равно 412 кПа?

6. Брусok массой $m = 2$ кг имеет форму параллелепипеда. Лежа на одной из граней, он оказывает давление $p_1 = 1$ кПа, лежа на другой – давление 2 кПа, стоя на третьей – давление 4 кПа. Каковы размеры бруска?

Контрольные вопросы

1. Дайте определение гидравлики.
2. Перечислите основные этапы развития механики жидкости и газа.
3. Назовите основные физические свойства жидкости.
4. Что такое равновесное состояние жидкости?
5. Перечислите силы, действующие на жидкость.
6. Напишите основное уравнение гидростатики.
7. Что такое поверхность уровня?
8. Напишите основной закон Паскаля, приведите пример его применения.
9. Что такое абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давление?