

Глава 6

Клапаны регулирования давления

В мобильных гидросистемах давление регулируется с помощью клапанов регулирования давления. Они, в основном, делятся на пять типов, и могут управляться непосредственно или через пилотное управление:

- Предохранительные клапаны (ограничивают максимальное давление в системе или в её части).
- Редукционные клапаны (понижают давление системы на выходе до постоянной величины независимо от флуктуаций в главной системе выше выбранного давления).
- Компенсаторы давления (поддерживают постоянный перепад давлений, например, на регулируемых дросселях).
- Клапаны последовательности и разгрузочные клапаны (открывают или закрывают путь прохождения потока при заданном уровне давления).
- Клапаны удержания нагрузки (обеспечивают бескавитационное опускание, предотвращая выбег привода под действием веса нагрузки).

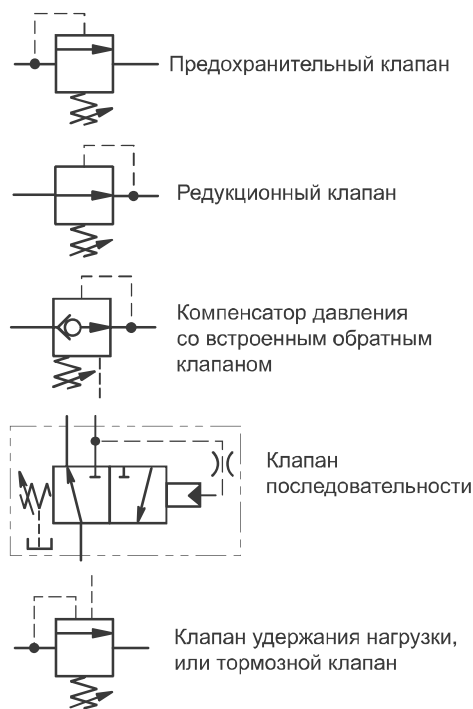


Рис. 6-1 Условные обозначения клапанов регулирования давления

Предохранительные клапаны прямого действия

Предохранительные клапаны прямого действия ограничивают максимальное давление системы. Они могут быть неотъемлемой частью главного гидрораспределителя.

Предохранительный клапан, в основном, состоит из запорного элемента (конуса, тарелки), седла, пружины и винта настройки.

Работа клапана

На Рис. 6-2 входное (первичное) отверстие подсоединяется к давлению системы, а выходное (вторичное) отверстие – к баку; конус удерживается в своем седле пружиной. Когда давление преодолевает усилие пружины, конус отжимается от седла и открывает проход рабочей жидкости в бак. Поток из насоса теперь направляется в бак, и давление системы ограничивается величиной уставки пружины.

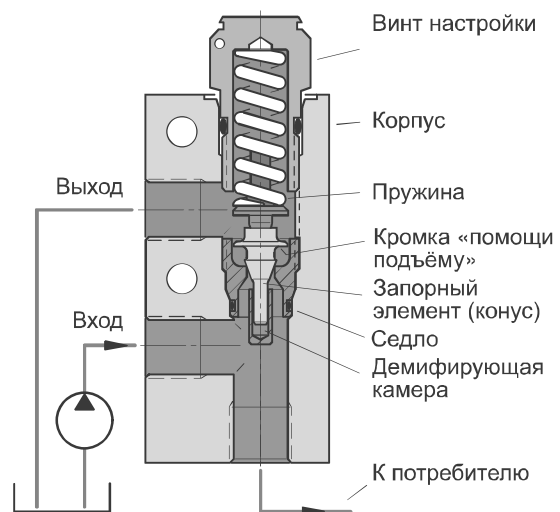


Рис. 6-2 Предохранительный клапан прямого действия (в разрезе)

Величина открытия конуса зависит от расхода, и при этом поддерживается баланс сил от давления жидкости на конус и усилия пружины. Вследствие этого гидравлическая энергия преобразуется в тепловую (Формула 6-1).

Глава 6 - Клапаны регулирования давления

Формула 6-1 Энергия является функцией расхода, давления и времени

$$W = Q \times p \times t$$

где: W - энергия
Q - расход
p - перепад давлений
t - время.

Характеристики клапана

Клапан прямого действия начинает открываться, когда входное давление превышает уставку пружины. Это давление «срабатывания» обычно немного ниже «заданного давления». Такое действие клапана обусловлено сжатием пружины (довольно жёсткой) вследствие увеличивающегося потока, проходящего через конус, и уменьшающейся эффективной площади входа.

Когда клапан начинает открываться в точке срабатывания, гидравлическое статическое давление действует на площадь A1 конуса (Рис. 6-3). Конус открывается на некоторое расстояние, сжимая пружину. Чтобы пропускать больший поток через ограничивающее отверстие требуется большее давление рабочей жидкости.

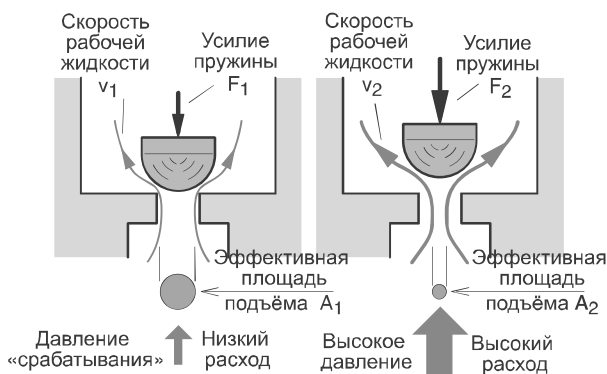


Рис. 6-3 Эффективная площадь подъёма (под действием давления)

Более высокая скорость рабочей жидкости, проходящей через отверстие между седлом и конусом, уменьшает эффективную площадь подъёма (A2 меньше, чем A1) потому, что статическое давление падает.

Когда сила F возрастает (вследствие сжатия пружины), и эффективная площадь подъёма A уменьшается, требуется более высокое давление; см. Формулу 6-2. В результате, давление увеличивается при возрастании расхода, как показано на Рис. 6-4. Это увеличение может быть компенсировано до некоторой степени с помощью динамического воздействия струи жидкости на кромку «помощи подъёму» на конусе клапана (показанную на Рис. 6-2 и 6-6).

Формула 6-2 Усилие пружины является функцией давления и площади

$$F = p \times A$$

где: F = усилие пружины
p = давление, действующее на конус
A = площадь, на которую действует давление

Повышенная характеристика улучшает запас устойчивости клапана. Для устранения описанного выше противоречия необходим тщательный выбор характеристики пружины. Иначе конус начнет колебаться и создавать пики высокого давления и недопустимый шум; см. кривую «нестабильной системы» на Рис. 6-4.

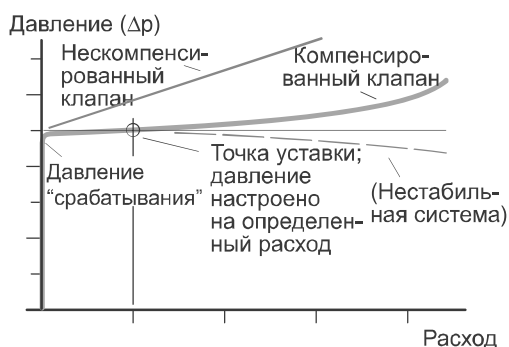


Рис. 6-4 График «давление-расход» предохранительного клапана прямого действия.

Основной причиной использования предохранительных клапанов прямого действия для исключения ударов в отверстиях привода (Рис. 6-8) является их высокое быстродействие, меньшее перерегулирование (Рис. 6-5) и меньшая утечка, чем у клапанов с пилотным управлением (непрямого действия). Прим. ред.)

Демпфирование предохранительного клапана

Динамическая устойчивость клапана в системе зависит от веса и формы конуса и седла, а также от характеристики пружины. Механические или гидравлические вибрации могут доходить до предохранительного клапана и вызывать колебания конуса, требующие соответствующего демпфирования. На Рис. 6-2 показан демпфер поршневого типа на входной (первичной) стороне. Объём рабочей жидкости из демпфирующей камеры должен проходить через небольшой зазор между поршнем конуса и соответствующим отверстием.

Степень демпфирования зависит от размера зазора между поршнем конуса и отверстием в седле, а также от вязкости рабочей жидкости; чем выше степень демпфирования, тем выше будет перерегулирование (Рис. 6-5).

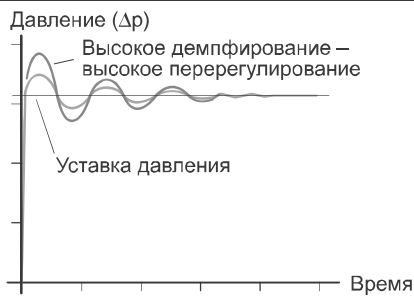


Рис. 6-5 Диаграмма, показывающая «перерегулирование» давления (когда предохранительный клапан резко открывается)

Области применения предохранительного клапана

Предохранительный клапан широко применяется в гидросистемах. Он может использоваться как предохранительный/защитный клапан системы или как «демпфирующий клапан» вспомогательной линии, защищающий, например, привод от чрезмерных внешних усилий.

Предохранительные клапаны приводов

Клапан регулирования давления, защищающий гидроцилиндр или гидромотор посредством поглощения пиков/«ударов» давления, часто называется предохранительным клапаном линии привода или демпфирующим клапаном. Он может настраиваться выше или ниже давления системы.

Клапан, показанный на Рис. 6-6 является аппаратом картриджного (ввертного) типа. Он обычно встраивается в главный гидрораспределитель и располагается между отверстием привода и сливной линией. Он также может устанавливаться в отдельный корпус.

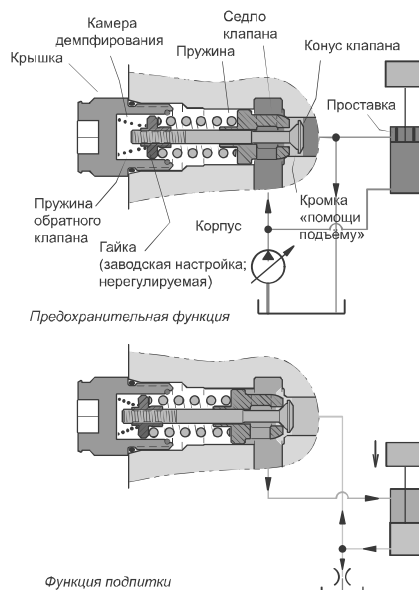


Рис. 6-6 Предохранительный клапан патронного типа (с функцией обратного клапана подпитки)

Обычно эти клапаны комбинируются с антикавитационной функцией, позволяющей рабочей жидкости протекать в противоположном направлении подпитки, уменьшая риск кавитации в камерах гидроцилиндра или гидромотора.

Как показано на рисунке, клапан состоит из седла, конуса, пружины, гайки или винта настройки (при наличии настройки), пружины обратного клапана и крышки.

Предохранительные клапаны в гидросистеме

На Рис. 6-7 показана гидросистема с главным предохранительным клапаном, но без предохранительных (демпфирующих) клапанов отверстий привода. В этих условиях соединенные с гидроцилиндром отверстия блокируются в нейтральной позиции золотника гидрораспределителя. Если во время работы системы внешне усилие будет вызывать повышение давления в отверстиях «А» или «В», такое повышение давления может повредить гидроцилиндр или идущие к нему линии.

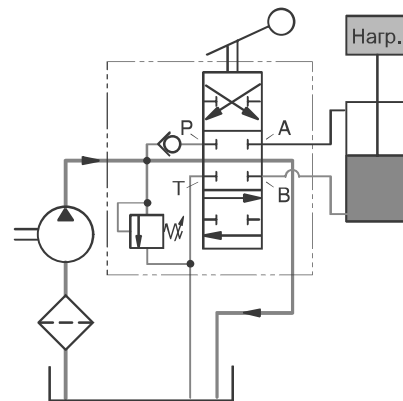


Рис. 6-7 Гидравлический контур с главным предохранительным клапаном

Как видно из схемы, предохранительный клапан системы изолирован от отверстий привода в нейтральной позиции золотника. Следовательно, он не защищает гидроцилиндр от возможных пиков давления.

Гидрораспределитель с предохранительными клапанами линий подключения гидродвигателя, Рис. 6-8, защищает гидроцилиндр от пиков высокого давления, вызванных, например, внешними силами. Каждый из этих клапанов может быть регулируемым или иметь постоянную уставку давления.

Если внешняя сила вызывает повышение давления в одном из отверстий гидроцилиндра, давление заставляет соответствующий клапан открываться в бак, тем самым, ограничивая давление. Когда предохранительный клапан открывается, поршень гидроцилиндра движется вниз из-за перетечек рабочей жидкости в бак.

Это движение поршня может, если ему нет противодействия, вызывать состояние под названием кавитация в штоковой камере гидроцилиндра. Для предотвращения этого разрушительного явления в линиях «А» и «В» устанавливаются обратные клапаны, обеспечивающие поток подпитки.

Глава 6 - Клапаны регулирования давления

Для более подробного объяснения принципа работы допустим, что отверстие «В» соединено с поршневой камерой гидроцилиндра, а отверстие «А» — со штоковой камерой гидроцилиндра (Рис. 6-8). Дополнительная нагрузка «F», прикладываемая сверху к первоначальной нагрузке, вызывает сжатие рабочей жидкости в поршневой камере гидроцилиндра. Если «F» достаточно велика, будет создаваться пик давления, превышающий уставку предохранительного клапана, и предохранительный клапан отверстия «В» откроется.

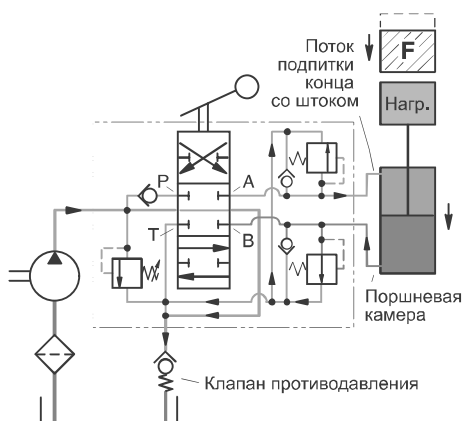


Рис. 6-8 Функция предохранительного клапана линии привода («удар» давления в поршневой камере)

Рабочая жидкость из поршневой камеры частично возвращается в бак, и частично проходит через обратный клапан отверстия «А» в штоковую камеру гидроцилиндра, уменьшая риск кавитации.

Если вместо этого на гидроцилиндр будет действовать большая тяговая нагрузка (Рис. 6-9), будет открываться предохранительный клапан отверстия «В». Вследствие меньшей площади штоковой камеры (по сравнению с поршневой) поток, выталкиваемый из штоковой камеры, будет недостаточным для заполнения увеличивающегося объема в поршневой камере (через обратный клапан в отверстии «А»). По этой причине необходима дополнительная рабочая жидкость из сливной линии (подаваемая насосом или из бака).

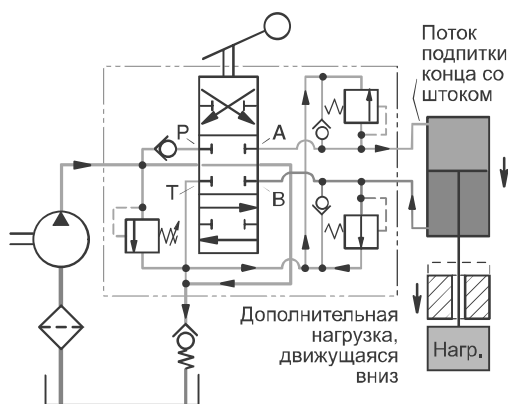


Рис. 6-9 Функция предохранительного клапана линии привода («удар» давления в штоковой камере)

ПРИМЕЧАНИЕ: С целью получения достаточного противодействия для реализации функции подпитки может потребоваться установка клапана противодействия в сливной линии (показан на Рис. 6-8 и 6-9).

Перекрытые предохранительные клапаны

В системах с гидромоторами часто используются перекрытые предохранительные клапаны. Когда гидромотор работает (в любом направлении), ему необходима защита от пиков высокого давления, вызываемых крутящими моментами внешних нагрузок.

Примером может служить внезапно остановленный гидромотор (Рис. 6-10). Это может произойти, например, когда машина с приводом от гидромотора внезапно наталкивается на препятствие. Весь поток насоса будет моментально направлен через перекрытый предохранительный клапан, и у насоса будет время уменьшить рабочий ход, иначе будет срабатывать главный предохранительный клапан (не показан).

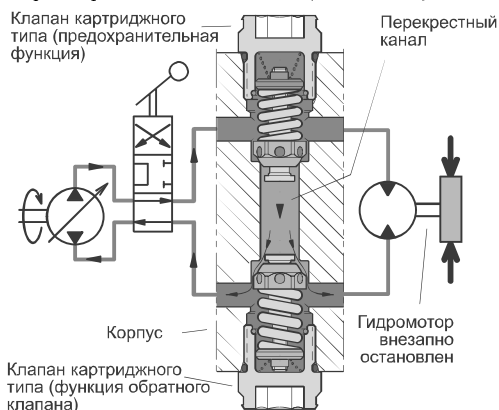


Рис. 6-10 Перекрытые предохранительные клапаны в контуре «насос-гидромотор» (гидромотор внезапно остановлен)

Если оператор машины резко переключит гидрораспределитель в нейтральную позицию (Рис. 6-11), пик давления, создаваемый инерцией нагрузки гидромотора будет ограничиваться соответствующим перекрытым предохранительным клапаном, обеспечивая плавную остановку вращающейся массы.

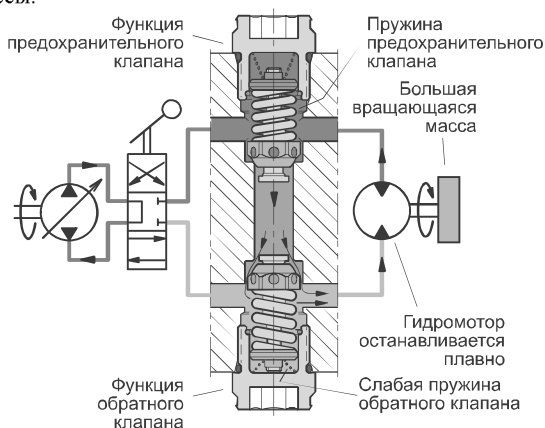


Рис. 6-11 Перекрытые предохранительные клапаны в контуре «насос-гидромотор» (гидрораспределитель переключён в нейтральную позицию)

Конструкция

В большинстве случаев перекрестные предохранительные клапаны состоят из двух патронных предохранительных клапанов прямого действия со встроенной функцией обратного клапана. Выходные линии клапанов соединены между собой, как показано на рисунке. Когда один из предохранительных клапанов открывается, рабочая жидкость проходит через обратный клапан противоположного патрона в камеру низкого давления гидромотора.

Патрон предохранительного клапана удерживается в своём седле слабой пружиной (конического типа, как показано на рисунке). При работе в качестве обратного клапана весь патрон перемещается, сжимая свою коническую пружину и позволяя потоку проходить к другому отверстию гидромотора. При этом уменьшается риск кавитации в камере низкого давления гидромотора.

ПРИМЕЧАНИЕ: Для большей наглядности на приведенной в этой главе схеме опущены некоторые компоненты, являющиеся существенными для правильного функционирования гидросистемы.

Предохранительные клапаны с пилотным управлением (непрямого действия. Прим. ред.)

В принципе, существуют два варианта управления. На Рис. 6-12 давление измеряется на входной (первичной) стороне; этот тип измерения давления называется «прямым пилотным управлением».

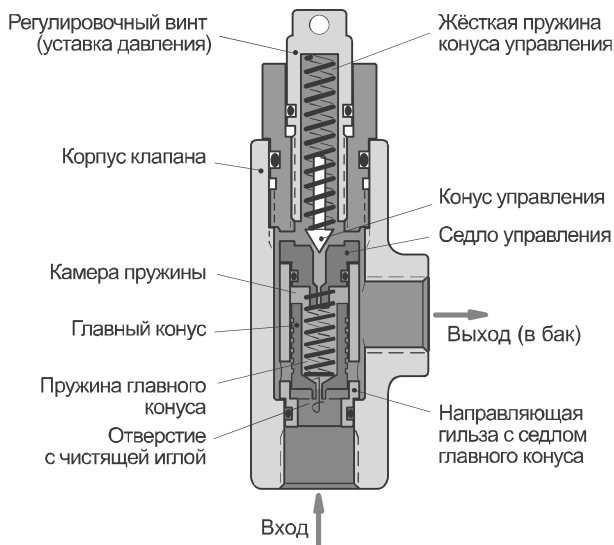


Рис. 6-12 Регулируемый предохранительный клапан с пилотным управлением (в разрезе)

Клапаны регулирования давления также могут измерять давление в другой части гидросистемы с помощью внешней линии управления, Рис. 6-14. Этот тип измерения давления называется «дистанционным пилотным управлением». В отличие от клапана прямого действия, в котором золотник или конус удерживается в смещённом положении только усилием пружины, в клапане с пилотным управлением главный конус смещается как давлением рабочей жидкости, так и усилием пружины.

Пилотная секция предохранительного клапана непрямого действия (Рис. 6-12) состоит из простого конуса, нагруженного пружиной и работающего с малыми расходами при высоком перепаде давлений. Главная секция также содержит простые конус/гильзу с пружинным смещением, работающие с большими расходами при низком перепаде давлений. При их совместном использовании возможна работа с большими расходами и высокими давлениями.

Клапан, показанный на рисунке, состоит из главного конуса с малым отверстием и чистящей иглой, пружины главного конуса, комбинированной направляющей гильзы с седлом, а также седла, конуса, пружины и регулировочного винта пилотной секции.

Работа клапана

В предохранительном клапане с пилотным управлением, показанном на Рис. 6-12, исключается сильное повышение давления при увеличении расхода с помощью слабой пружины смещения главного конуса (или золотника). Давление рабочей жидкости и пружина смещают главный конус клапана.

При достижении определенного давления системы конус поднимается из своего седла. Небольшое повышение давления при увеличивающемся расходе вызвано, прежде всего, сжатием слабой пружины и силами потока, действующими на конус. На Рис. 6-13 показана характеристика типичного предохранительного клапана с пилотным управлением.

Максимальное давление рабочей жидкости, необходимое для смещения главного конуса, определяется уставкой и характеристикой пилотного клапана. Для прохода давления в камеру пружины в главном конусе просверлено отверстие. Чистящая игла предотвращает закупорку этого отверстия.

В качестве примера, допустим, что пружина главного конуса клапана имеет уставку 7 бар (100 psi) и что клапан пилотной секции ограничивает управляющее давление в камере пружины до 140 бар (2000 psi). При давлении системы 140 бар (2000 psi), действующем на нижнюю часть конуса и толкающем его вверх, общее механическое и гидравлическое давление 147 бар (2100 psi) действует в сторону удержания главного конуса в нижнем положении.

Так как клапан пилотной секции настроен на ограничение давления рабочей жидкости в камере пружины главного конуса до 140 бар (2000 psi), при достижении этого давления клапан пилотной секции открывается, и рабочая жидкость течёт в бак. Общее давление, действующее вниз, все еще выше, чем давление, действующее вверх. Как можно видеть, давление открывания пилотной секции, ниже давления открывания главного конуса.

Высокий коэффициент жёсткости пружины приводит к значительному увеличению давления в фазе управления (см. Рис. 6-13). В результате малый расход должен проходить через управляющий клапан перед достижением «стационарной фазы», расход, который можно принять за утечку.

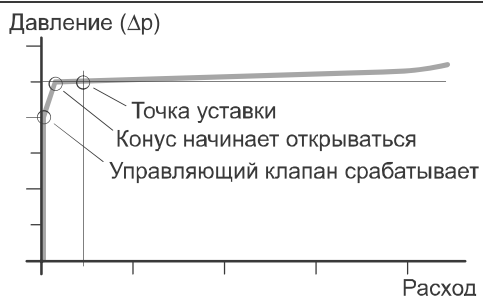


Рис. 6-13 График «давление-расход» предохранительного клапана с пилотным управлением.

Расход рабочей жидкости через отверстие в главном конусе увеличивается, вызывая некоторый перепад давлений на отверстиях, приводящий к уменьшению давления над главным конусом.

Когда перепад давлений становится равным уставке давления слабой пружины главного конуса, последний начинает открываться. В зависимости от конструкции отверстия и конусов могут достигаться различные перепады давлений и характеристики открывания.

Максимальное давление, которое может смещать главный конус в «нижнее» положение, равно 147 бар (2100 psi). Если бы управляющий клапан имел идеальную характеристику «давление-расход», давление под главным конусом могло бы только повышаться немного выше 140 бар (2000 psi), но это не соответствует приведенной конструкции.

Обратите внимание, что предохранительный клапан с пилотным управлением имеет, по крайней мере, в два раза больше возможных каналов утечки, чем клапан прямого действия.

Предохранительные клапаны с дистанционным пилотным управлением

Дистанционная настройка предохранительного клапана с пилотным управлением может выполняться с помощью отдельного предохранительного клапана, как показано на Рис. 6-14.

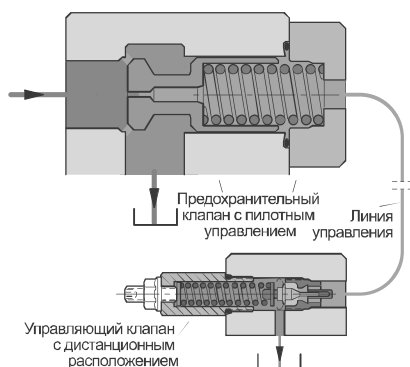


Рис. 6-14 Предохранительный клапан с пилотным управлением и настраиваемым управляющим клапаном (в разрезе)

При монтаже пилотного клапана в отдельном корпусе, его можно устанавливать в легкодоступном месте, обеспечивающем удобство настройки оператором машины или обслуживающим специалистом.

Тем не менее, следует учитывать, что при такой компоновке могут возникать проблемы устойчивости, для устранения которых потребуется соответствующее демпфирование.

Редукционные клапаны

Следующим типом клапана регулирования давления прямого действия является клапан, обеспечивающий прохождение потока через клапан в его исходном (нормально открытом) положении.

Клапан этого типа с общеупотребительным названием редукционный клапан ограничивает уровень давления на выходном (вторичном) отверстии и поддерживает его постоянным значение независимо от колебаний давления во входном (первичном) отверстии. Для поддержания давления на выходной стороне входное давление должно быть, по крайней мере, на том же уровне, что и заданное давление.

На Рис. 6-15 показан редукционный клапан прямого действия. Он состоит из корпуса, золотника, пружины, винта настройки и стопорной гайки. Такие клапаны могут быть двух- или трёхлинейными; на рисунке показан трёхлинейный клапан.

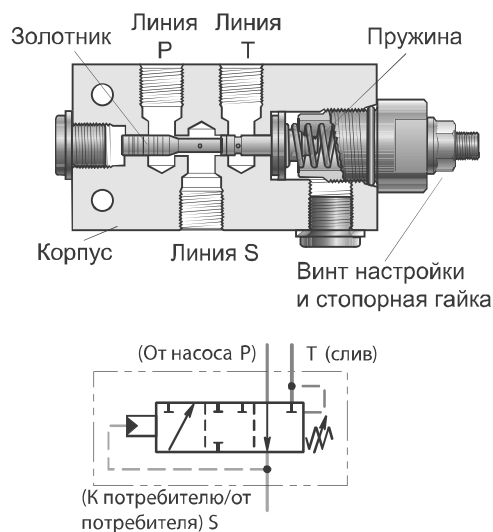


Рис. 6-15 Трёхлинейный редукционный клапан (в разрезе) со схемой

Клапан открыт (P- S) до тех пор, пока уровень давления на вторичной стороне (S) ниже уставки пружины. Из камеры пружины осуществляется внутренний слив в бак через небольшое отверстие в золотнике. Вторичное давление действует (через другое небольшое отверстие в золотнике) на площадь левого торца золотника. Когда давление в линии S повышается до заданного значения, золотник перемещается вправо и дросселирует (редуцирует) поток P- S. Если давление на вторичной стороне будет стремиться к превышению уставки, то золотник клапана будет двигаться

далее (вправо) и соединять S с T. При этом клапан действует как предохранительный клапан на вторичной стороне.

Редукционный клапан может легко управляться посредством соединения настраиваемого управляющего предохранительного клапана с камерой пружины (Рис. 6-16). Это аналогично показанному выше предохранительному клапану с пилотным управлением.

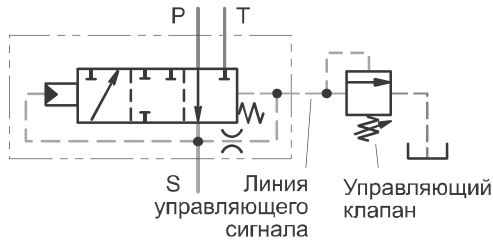


Рис. 6-16 Трёхлинейный редукционный клапан с внешним управлением

Если редукционный клапан предназначен для управления большими расходами, обычно он имеет пилотное управление. На Рис. 6-17 показан клапан с пилотным управлением, оснащенный интегрированным электронным модулем управления, который контролирует пропорциональный электромагнитный пилотный клапан. Это позволяет настраивать уставку давления (в линии A) дистанционным электрическим сигналом.

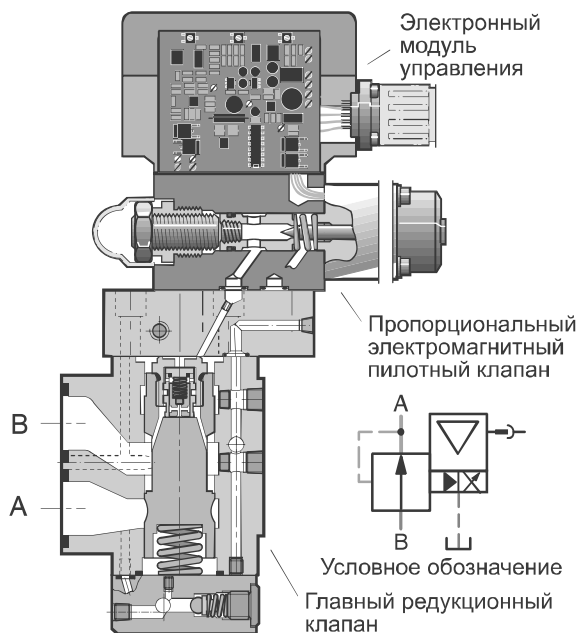


Рис. 6-17 Редукционный клапан с электронным управлением (с условным обозначением)

График на рис. 6-18 показывает, что при уставке, например, равной 150 бар (2200 psi), клапан с большой точностью поддерживает заданное значение в линии A независимо от колебаний входного давления в линии B.

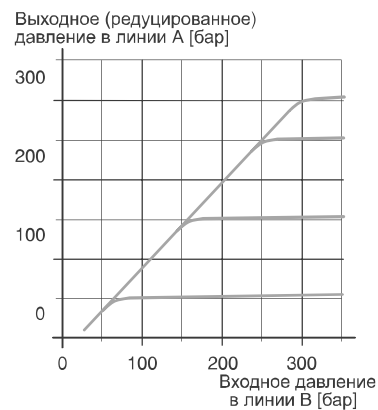


Рис. 6-18 График зависимости выходного давления от входного давления редукционного клапана, показанного на Рис. 6-17

Клапаны последовательности

На Рис. 6-19 показан клапан последовательности 3/2 (три линии, два положения), который управляется внутренним управляющим сигналом.

Золотник изменяет положение, когда давление в линии P повышается до уставки давления пружины. Клапан может быть либо нормально закрытым (как на Рис. 6-19), либо нормально открытым.

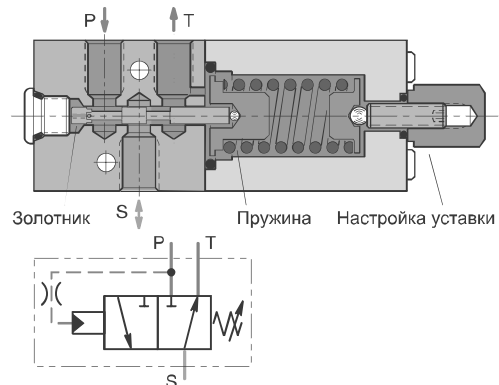


Рис. 6-19 Клапан последовательности в разрезе (с условным обозначением)

Клапаны последовательности поставляются в нескольких вариантах исполнения, например, 3/2 (показан выше), 2/2, и клапаны с пилотным (дистанционным) управлением. Они используются, например, в контурах управления с низким расходом, где необходимо закрывать или открывать соединение при заданном уровне управляющего сигнала из другого контура.

Другими областями применения клапана последовательности являются кран и лесопогрузчик. Этот клапан может входить в состав системы защиты от перегрузки. Он предотвращает любую попытку подъема нагрузки, которая будет превышать максимально допустимый опрокидывающий момент (вес × «плечо») основной конструкции крана или погрузчика.

Компенсаторы на входе

Компенсатор давления на входе/байпасный клапан может встраиваться в пропорциональный гидрораспределитель для обеспечения расхода, не зависящего от давления нагрузки. Эта клапанная функция используется в системах с замкнутым контуром и постоянным расходом (СРС) с нерегулируемыми насосами, поэтому скорость функции (привода) прямо пропорциональна положению рукоятки (определяющего степень открывания золотника, отверстия, или площадь).

Компенсатор на входе является нормально закрытым (не пропускающим) клапаном давления, расположенным на входе гидрораспределителя (Рис. 6-20). Он состоит из золотника компенсатора, пружины, предохранительного клапана и демпфирующего отверстия.

Разгрузочный клапан в контуре

На Рис. 6-20 показан золотник гидрораспределителя в нейтральной позиции. Поток из насоса, входящий в отверстие «Р», проходит вокруг золотника компенсатора и соединён с нижней торцевой поверхностью золотника. Камера пружины и предохранительный клапан (называемые контуром, чувствительным к нагрузке) имеют слив в бак через канавку измерения нагрузки на золотнике гидрораспределителя.

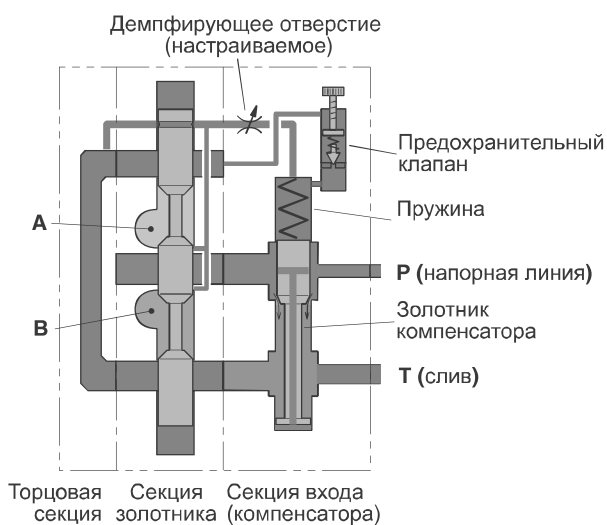


Рис. 6-20 Контур чувствительного к нагрузке клапана с компенсатором давления на входе (золотник в нейтральной позиции)

Поэтому любое давление насоса выше уставки пружины, обычно равной 6 бар (85 psi), будет вызывать сдвиг золотника компенсатора «вверх» и отвод потока насоса в бак при перепаде давлений 6 бар (85 psi).

Когда золотник гидрораспределителя перемещается «вниз» или «вверх» (Рис. 6- 21), давление нагрузки в отверстии привода «А» или «В» (в зависимости от того, какое из них соединено с отверстием «Р») измеряется в 4-линейном корпусе и передается в пружинную камеру компенсатора

на входе и предохранительный клапан. Компенсатор поддерживает постоянный перепад давлений на 4-линейном золотнике с одновременным отводом любого избыточного потока насоса в бак.

Положение золотника гидрораспределителя задаёт определенный расход, и давление нагрузки измеряется в пружинной камере.

Давление нагрузки и усилие пружины смещают золотник компенсатора вниз, и одновременно давление насоса воздействует на нижнюю торцевую поверхность золотника. Поток из отверстия «Р» не поступает в отверстие привода до тех пор, пока давление насоса не превысит давления нагрузки плюс усилие пружины.

При работе клапана золотник компенсатора постоянно осуществляет регулирование, пропуская лишь поток, необходимый для функции и эквивалентный величине смещения золотника при перепаде давлений на его рабочих кромках, определяемом усилием пружины. Так как компенсатор постоянно сравнивает давление нагрузки с давлением насоса (поддерживая постоянный перепад давлений на четырёхлинейном золотнике), расход на выходе четырёхлинейного золотника является постоянным для определенного его положения независимо от изменений давления нагрузки; см. Формулу 6-3.

Формула 6-3 Падение давления на отверстии

$$p = C \times Q^2 / A^2$$

где: p - падение давления на отверстии (= кольцевая площадь золотника; Рис. 6-21)
 C - постоянная (зависящая от формы отверстия и плотности рабочей жидкости)
 Q - расход через отверстие
 A - площадь отверстия

Когда падение давления на отверстии поддерживается постоянным, расход прямо пропорционален площади отверстия, или Q (расход) является функцией A (площади).

ПРИМЕЧАНИЕ: Если потребность в выходном расходе стремится быть равной подаче насоса, компенсатор блокирует перепуск «Р» - «Т», и выходной расход не может компенсироваться.

Регулирование максимального давления нагрузки

Для ограничения давления нагрузки в компенсатор на входе встраивается предохранительный клапан, Рис. 6-21 и 6-22, который ограничивает давление нагрузки. Когда давление нагрузки превысит уставку предохранительного клапана, он открывается, ограничивая максимальное давление в пружинной камере до уставки предохранительного клапана. Таким образом, любое давление нагрузки выше уставки предохранительного клапана будет вызывать отвод потока насоса золотником компенсатора в бак при падении давления, эквивалентном уставке предохранительного клапана плюс усилие пружины.

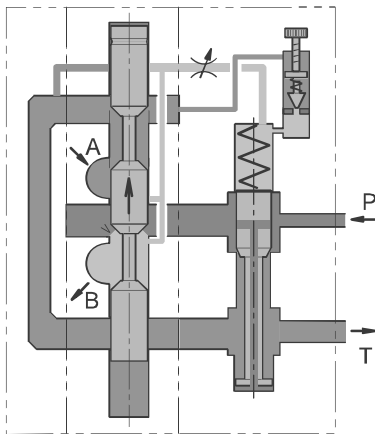


Рис. 6-21 Клапан компенсатора на входе активирован (золотник клапана сдвинут «вверх»)

Настраиваемое демпфирующее отверстие компенсатора используется для снижения его быстродействия. В результате компенсатор не будет «рыскать», пытаясь быстро отслеживать изменения давления нагрузки.

Редукционный компенсатор

Редукционный компенсатор, Рис. 6-22, используется в гидрораспределителе совместно с насосами с компенсацией по давлению или чувствительностью к нагрузке, контурами аккумуляторов или когда несколько гидрораспределителей соединены в контуре параллельно.

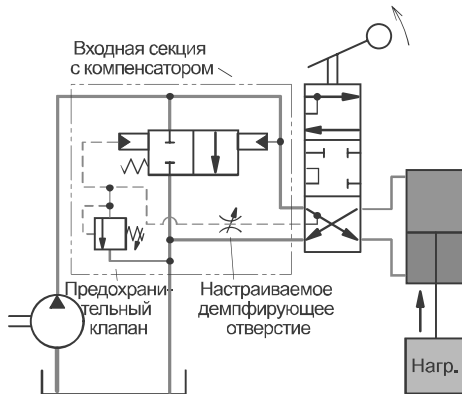


Рис. 6-22 Схема входного компенсатора

В некоторых конструкциях клапанов компенсатор используется как входной компенсатор, а в других – как компенсатор отдельной секции клапана. Компенсатор состоит из золотника, пружины, настраиваемого демпфирующего отверстия и иногда из предохранительного клапана.

Главным различием между редукционным (нормально открытым) компенсатором и ранее описанным разгрузочным (нормально закрытым) клапаном является то, что компенсатор удерживается в закрытом состоянии в своем исходном положении.

Редукционный компенсатор выполняет три основные функции:

- блокирует неиспользуемый расход насоса на входе, обеспечивая уменьшение рабочего хода насосов с компенсацией по давлению или чувствительностью к нагрузке.
- обеспечивает постоянное Δp на 4-линейном золотнике.
- ограничивает максимальное давление нагрузки.

Когда золотник гидрораспределителя находится в нейтральной позиции, компенсатор блокирует весь поток насоса на входе. Это позволяет уменьшить рабочий ход насоса или использовать поток насоса в любом другом месте системы.

Из пружинной камеры осуществляется слив в бак, как видно на Рис. 6-23. При давлении насоса выше уставки пружины, обычно равной 6 бар (85 psi), золотник компенсатора сдвигается «вверх» и блокирует любой поток насоса.

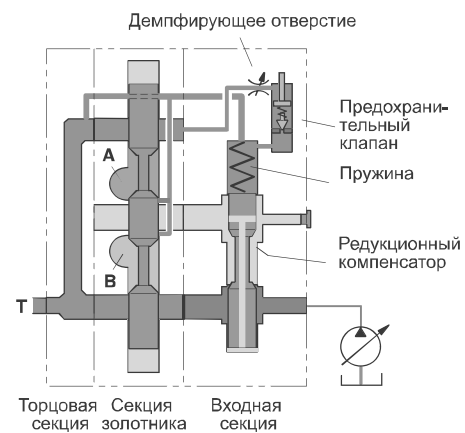


Рис. 6-23 Входная секция с редукционным компенсатором

Когда золотник гидрораспределителя сдвинут от нейтральной позиции (Рис. 6-24), редукционный компенсатор поддерживает постоянное Δp на 4-линейном золотнике, любой неиспользуемый поток насоса блокируется на входе. Давление нагрузки, измеряемое в камере пружины, и усилие пружины действуют на левый торец золотника компенсатора, в то время как давление насоса действует на противоположный торец.

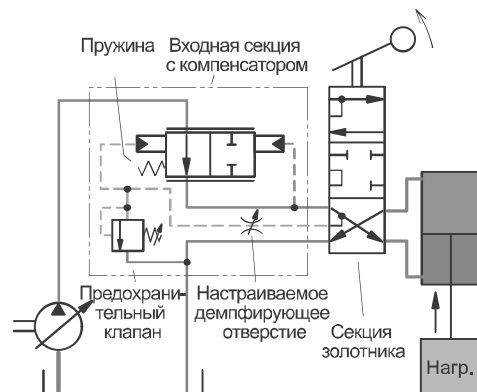


Рис. 6-24 Контур компенсатора давления (золотник регулирующего клапана сдвинут «вверх»)

Глава 6 - Клапаны регулирования давления

При работе клапана золотник компенсатора постоянно осуществляет регулирование, пропуская лишь поток, необходимый для функции и соответствующий величине перемещения золотника при перепаде давлений, определяемом усилием пружины.

Поскольку компенсатор непрерывно отслеживает Δp на 4-линейном золотнике и выполняет регулирование для поддержания этого перепада давлений, выходной поток к нагрузке будет постоянным независимо от изменений в давлении нагрузки.

Настраиваемое отверстие используется для демпфирования колебаний компенсатора при очень сильных флуктуациях давления нагрузки. Предохранительный клапан измеряет давление насоса выше уставки предохранительного клапана заставляя золотник компенсатора закрываться, максимизируя давление нагрузки.

Регуляторы нагрузки

Следующие клапаны могут быть использованы, например, для предотвращения неконтролируемого падения подвешенной нагрузки.

1) обратный клапан с пилотным управлением (гидрозамок. Прим. ред.).

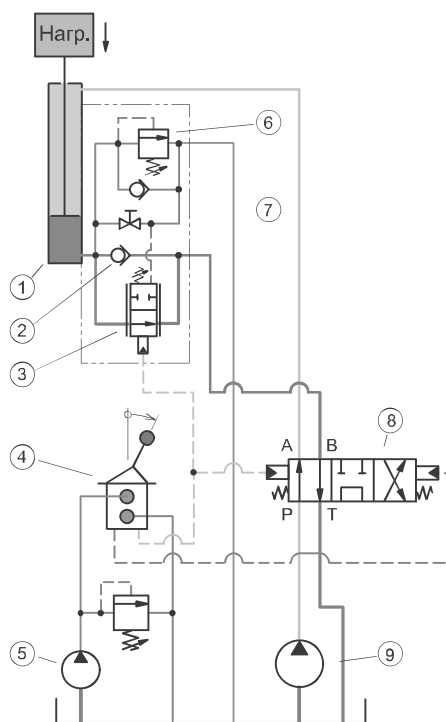
2) уравнивающий клапан

Регулятор нагрузки может потребоваться для следующих целей:

- блокировка нагрузки при разрыве шланга или трубопровода
- исключение опускания нагрузки вследствие утечки в гидрораспределителе
- обеспечение плавного регулирования в режиме опускания
- исключение удара давления в приводе при внезапном закрытии гидрораспределителя
- минимизация энергии при подъеме или опускании легкой нагрузки

Уравнивающий клапан обычно удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям, в то время как обратный клапан с пилотным управлением – только первым двум.

ПРИМЕЧАНИЕ: В качестве альтернативы приведенным выше клапанам может использоваться так называемый клапан разрыва шланга (Рис. 6-25) с фланцевым монтажом на гидроцилиндре. В случае разрыва в линии, соединенной с отверстием «В», движение опускания нагрузки может быть плавно остановлено просто с помощью возврата рукоятки дистанционного управления в нейтральную позицию; не будет происходить какого-либо удара давления.



1. Гидроцилиндр
2. Обратный клапан функции подъёма
3. Клапан функции опускания
4. Клапан дистанционного управления
5. Насос управления
6. Амортизирующий клапан
7. Ручная блокировка регулирования
8. Главный гидрораспределитель
9. Главный насос

Рис. 6-25 Контур клапана разрыва шланга (режим опускания)

Кроме золотникового клапана функции опускания, клапан разрыва шланга содержит ручную блокировку регулирования и амортизирующий клапан, предотвращающий удары давления, для случая отказа линии сигнала управления.

Как показано на Рис. 6-25, клапан разрыва шланга используется совместно с гидрораспределителем с пилотным управлением.

Обратный клапан с пилотным управлением

Простой обратный клапан с пилотным управлением устанавливается, например, на гидроцилиндре, как показано на Рис. 6-26. В режиме опускания клапан удерживается в открытом состоянии посредством напорной линии управления. Как только в линии «А» пропадает давление, обратный клапан эффективно блокирует нагрузку в её положении (но не может предотвратить перемещение вследствие утечки в уплотнении гидроцилиндра).

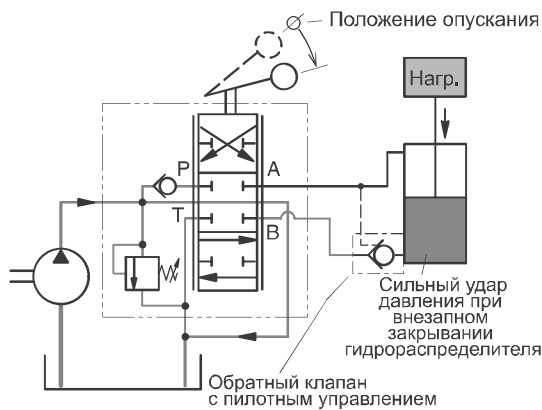


Рис. 6-26 Обратный клапан с пилотным управлением, установленный на гидроцилиндр в качестве клапана удержания нагрузки

Поскольку клапан либо закрыт, либо открыт, в гидроцилиндре может возникнуть сильный гидроудар, когда гидрораспределитель внезапно возвращается в нейтральную позицию из положения опускания; это можно предотвратить только медленным перемещением рукоятки гидрораспределителя.

Сильные удары давления также могут возникать, когда имеется разрыв в линии между обратным клапаном и отверстием «В». Обратный клапан с пилотным управлением может создавать ощутимые колебания давления системы (обнаруживаемые по сильному шуму) и, следовательно, его нельзя устанавливать в системе данного типа.

Уравновешивающий клапан

В мобильном гидрооборудовании этот клапан в основном используется как защитное устройство, такое как клапан разрыва шланга или клапан удержания нагрузки на гидроцилиндре стрелы.

Главной целью уравновешивающего клапана является обеспечение бескавитационного опускания нагрузки и предотвращение выбега привода под действием веса нагрузки. Он также действует как предохранительный клапан в одном направлении потока и как обратный клапан для свободного потока в противоположном направлении. Кроме того, он работает как клапан разрыва шланга при установке непосредственно на гидроцилиндре.

В мобильных системах золотник гидрораспределителя регулирует скорость выполнения рабочей функции. Тем не менее, в некоторых странах дополнительный уравновешивающий клапан является обязательным оборудованием.

Уравновешивающий клапан в гидросистеме

В гидросистеме на Рис. 6-27 гидрораспределитель направляет поток в штоковую камеру гидроцилиндра для опускания толкающей нагрузки. Вес нагрузки выталкивает рабочую жидкость из поршневой камеры гидроцилиндра, что вызывает неконтролируемое падение нагрузки

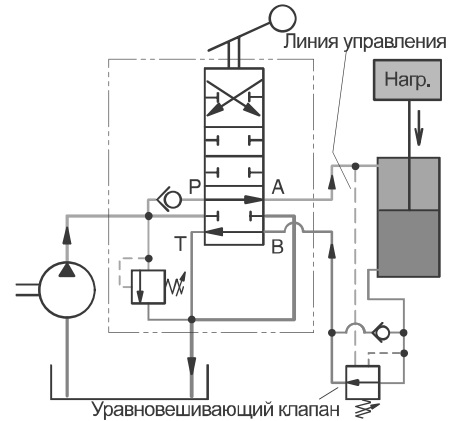


Рис. 6-27 Контур гидроцилиндра с уравновешивающим клапаном

(если скорость не ограничивается золотником главного гидрораспределителя). Поддачи насоса может не хватить для отслеживания движения поршня, что вызовет кавитацию в штоковой камере гидроцилиндра.

Для исключения такой ситуации в линию, идущую из поршневой камеры гидроцилиндра в отверстие «В», установлен уравновешивающий клапан, причём линия управления из штоковой камеры теперь контролирует его работу.

Для открывания этого клапана требуется управляющее давление, обычно составляющее от 10 до 30 % давления в поршневой камере. Если поршень стремится увеличить свою скорость, давление в штоковой камере будет падать, и клапан начнет ограничивать расход.

На Рис. 6-28 показана система с гидравлической лебёдкой. Уравновешивающий клапан предотвращает выбег подвешенной нагрузки, и для удержания клапана в открытом состоянии требуется определенное управляющее давление.

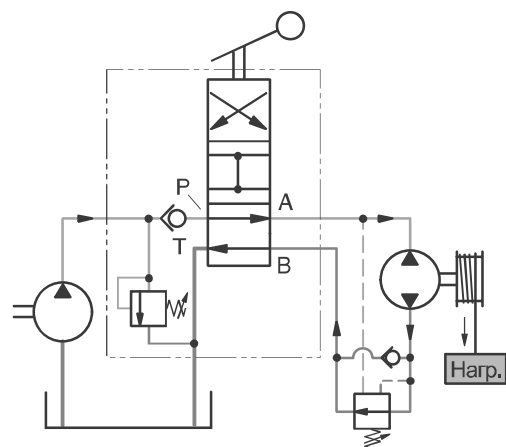


Рис. 6-28 Гидромотор двустороннего действия с уравновешивающим клапаном, действующим при опускании нагрузки

Глава 6 - Клапаны регулирования давления

Уравновешивающий клапан с пилотным управлением имеет следующие особенности:

- Он блокирует нагрузку (без утечки), когда гидрораспределитель не работает.
- Перемещение нагрузки останавливается в случае разрыва шланга или трубопровода.
- Он обеспечивает бескавитационное опускание нагрузки, регулируемое с помощью управляющего действия над расходом опускания и с помощью давления питания золотника, предотвращая выбег привода под весом нагрузки.
- Он обычно содержит обратный клапан для свободного потока в обратном направлении.
- Он содержит функцию предохранительного клапана, защищающую от ударов давления, вызываемых внешними силами или разгоном нагрузки (в случае, если золотник гидрораспределителя имеет открытый центр).

Для гидрораспределителя с закрытым центром требуются внешние предохранительные клапаны. При отсутствии компенсации, между главным золотником и клапаном удержания нагрузки будет создаваться противодействие.

Работа клапана

На Рис. 6-29 показан разрез типичной конструкции клапана (соответствующее условное обозначение показано вверху). Клапан имеет следующие режимы работы:

1. подъём нагрузки
2. удержание нагрузки
3. опускание нагрузки
4. функция ударной нагрузки (в режиме опускания нагрузки).

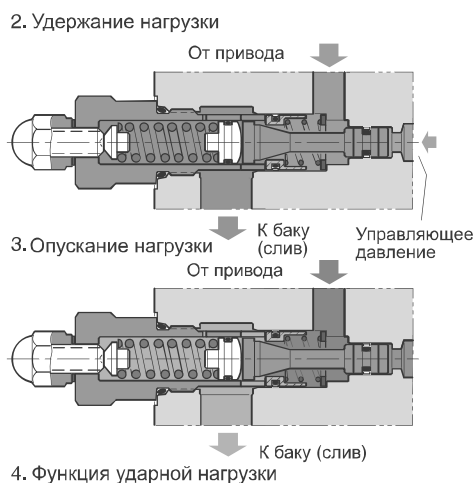


Рис. 6-29 Уравновешивающий клапан в четырёх режимах работы

Функция предохранительного клапана в уравновешивающем клапане должна быть способна остановить любой расход опускания (или возврата) при максимально допустимой нагрузке привода (соответствующей максимальному давлению, p_{max}). Предохранительный клапан обычно настраивается на значение не менее чем на 30% выше p_{max} (Формула 6-4).

Формула 6-4 Уставка предохранительного клапана по максимальному давлению нагрузки

$$p_s = 1,3 \times p_{max}$$

где: p_s = уставка предохранительного клапана уравновешивающего клапана

p_{max} = максимально допустимое давление нагрузки

Когда давление нагрузки действует на отверстие привода, клапан остается закрытым, пока отверстие управления не получит достаточного давления (удержание нагрузки). Давления управления и нагрузки действуют вместе для открывания клапана. Когда это объединённое давление достигает уставки клапана, нагрузка начинает двигаться.

Если нагрузка пытается превысить подачу насоса, давление в линии управления снижается. Предохранительный клапан при этом дросселирует (редуцирует) расход и отслеживает нагрузку. В противоположном направлении поток свободно проходит через обратный клапан, как показано на рисунке (подъём нагрузки).

Управляющее давление, необходимое для начала движения нагрузки, может быть вычислено по Формуле 6-5. Обратите внимание, что характеристика предохранительного клапана всегда повышается с расходом, который, в свою очередь, увеличивает запас устойчивости. Это означает, что управляющее давление должно задаваться более высоким для более высоких расходов.

Формула 6-5 Необходимое управляющее давление в соответствии с давлением нагрузки

$$p = (p_s - p_c)/R$$

где: p - необходимое управляющее давление
 p_s - уставка предохранительного клапана
 p_c - давление в отверстии С (Рис. 6-29)
 R - соотношение управляющих площадей уравнивающего клапана (обычно от 3 до 8)
 На рынке сегодня имеются клапаны с самыми различными соотношениями управляющих площадей.

Ниже приведены некоторые общие правила определения влияния соотношения управляющих площадей на работу уравнивающего клапана в системе.

- Высокое соотношение (обычно от 6 до 8) обеспечивает более низкое управляющее давление и более быструю работу привода. Оно также менее энергоёмко и лучше подходит для областей применения с относительно постоянным давлением нагрузки.
- Низкое соотношение требует более высокого управляющего давления и потребляет больше энергии. Тем не менее, оно обеспечивает более точное и плавное регулирование функции опускания. Низкое управляющее давление используется в системах с переменным давлением нагрузки, способным вызвать неустойчивость.

ПРИМЕЧАНИЕ: Следует уделить внимание аспектам устойчивости, когда клапаны удержания нагрузки устанавливаются в систему с чувствительностью к нагрузке. Это может потребовать анализа системы и настройки её компонентов.

Другие клапаны регулирования давления

Клапан противодействия используется в качестве обратного клапана с пружинным смещением и/или пилотным управлением при установке в сливной линии (см. Рис. 6-8 и 6-9). Он также может объединяться с гидрораспределителем. Такая схема повышает противодействие в сливной линии, что улучшает возможности подпитки и снижает тем самым риск кавитации привода.

Предохранительные клапаны аккумуляторов

В мобильных гидросистемах используются также специальные предохранительные клапаны. Одним из них является предохранительный клапан аккумулятора (Рис. 6-30), используемый в контуре рулевого управления и тормозном контуре, например, фронтального погрузчика. Он предназначен для регулирования расхода гидравлической жидкости, входящей в аккумулятор и выходящей из него, предотвращения обратного потока из аккумулятора в насос и демпфирования пиков давления в системе рулевого управления.

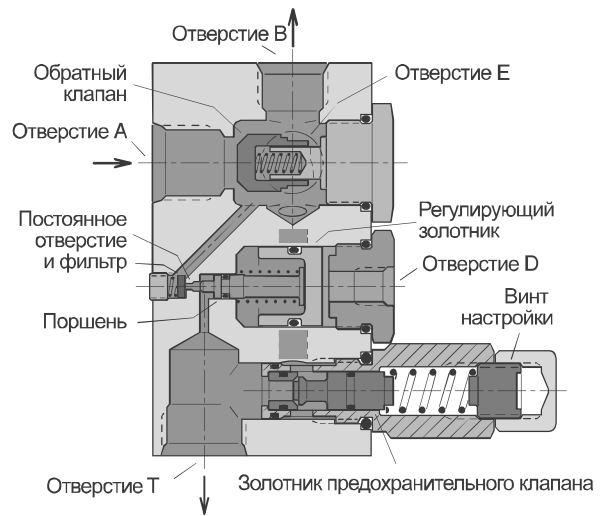


Рис. 6-30 Предохранительный клапан аккумулятора (показан с открытым главным обратным клапаном)

Клапан содержит обратный клапан, золотник предохранительного клапана, винт настройки, управляющий золотник, постоянное отверстие с фильтром и поршень.

Работа клапана

Согласно требованиям OSHA (Управления США по охране труда и промышленной гигиене) тяжёлые машины должны иметь средства рулевого управления в случае отказа двигателя или насоса рулевого управления. Вследствие такого требования производители машин часто используют в системе гидроаккумулятор, обеспечивающий необходимые расход и давление рабочей жидкости.

На схеме Рис. 6-31 показано, как предохранительный клапан аккумулятора используется для изоляции аккумулятора в системе. При запуске двигателя гидравлическая жидкость из насоса входит в клапан в точке «А» и открывает обратный клапан.

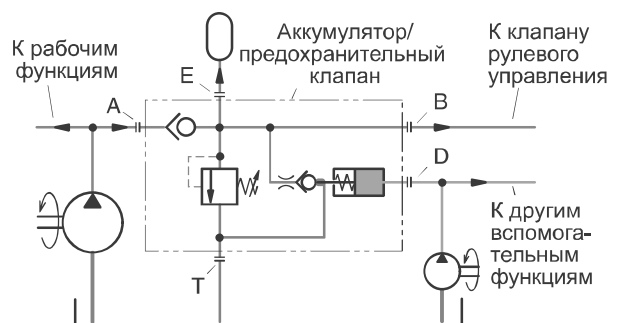


Рис. 6-31 Контур предохранительного клапана аккумулятора (поток насоса к клапану рулевого управления и аккумулятору)

Глава 6 - Клапаны регулирования давления

Далее поток идет через отверстие «В» к клапану рулевого управления и аккумулятору через отверстие «Е». Поток рабочей жидкости также проходит через внутренние каналы клапана к торцу золотника предохранительного клапана, где он останавливается.

Постоянное отверстие в клапане заблокировано управляющим давлением, действующим на площадь регулирующего золотника через отверстие «D» и перемещающим регулирующий золотник и поршень влево.

ПРИМЕЧАНИЕ: Управляющее давление должно подводиться от отдельного источника давления рабочей жидкости, такого как насос трансмиссии, рулевого управления или главный гидравлический насос.

Если в процессе работы системы рулевого управления в отверстии «В» возникнет ударное давление (Рис. 6-32), обратный клапан, показанный на Рис. 6-30, будет сдвинут влево, блокируя отверстие «А».

Это давление часто может поглощаться аккумулятором через отверстие «Е».

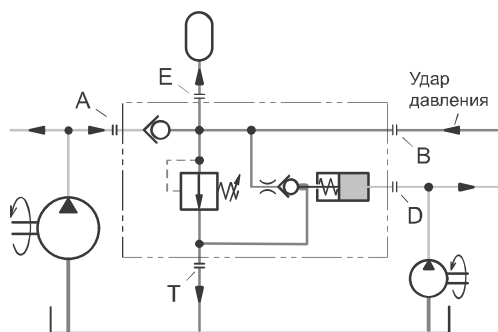


Рис. 6-32 Контур предохранительного клапана аккумулятора (удар давления из клапана рулевого управления воспринимается аккумулятором и/или открывает предохранительный клапан)

Когда аккумулятор заряжен до своей максимальной вместимости, пиковое давление воздействует на золотник предохранительного клапана, в большинстве случаев настроенный на открытие при давлении на 25...35 бар (от 400 до 500 psi) выше максимального давления системы. Если пиковое давление превышает уставку предохранительного клапана, он открывается и обеспечивает выход избыточного давления обратно в бак.

Когда двигатель машины выключается, подача рабочей жидкости в отверстие «А» прекращается, и обратный клапан закрывается, удерживая давление аккумулятора в системе рулевого управления. В качестве защиты от неконтролируемой работы рулевого управления машины при выключенном двигателе, накопленное в аккумуляторе давление автоматически выпускается обратно в бак (Рис. 6-33).

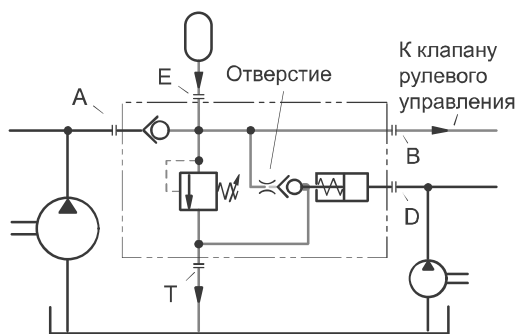


Рис. 6-33 Контур предохранительного клапана аккумулятора (поток аккумулятора подаётся на клапан рулевого управления и постепенно стравливается в бак)

Управляющее давление в отверстии «D», удерживающее управляющий золотник и поршень в левом положении, выпускается и сбрасывается при выключении двигателя. Усилие пружины вместе с давлением из аккумулятора толкают управляющий золотник вправо. При этом открывается площадь постоянного отверстия и давление аккумулятора медленно стравливается через отверстие обратно в бак (это отверстие может защищаться от засорения встроенным фильтром).

Снижение потерь энергии при холостом ходе машины

Когда машина работает в режиме холостого хода и не выполняется какой-либо полезной работы, происходит ненужная растрата мощности высокой подачи насоса при её прохождении через гидросистему. Снижение подачи насоса можно осуществить, например, следующими способами:

- уменьшая частоту вращения двигателя
- выпуская поток системы в бак посредством разгрузки установленного главного предохранительного клапана с пилотным управлением

Разгрузка предохранительного клапана с пилотным управлением

Разгрузка предохранительного клапана или «выпуск» из него связаны с выпуском рабочей жидкости, смещающей главный конус предохранительного клапана с пилотным управлением, как показано на Рис. 6-34.

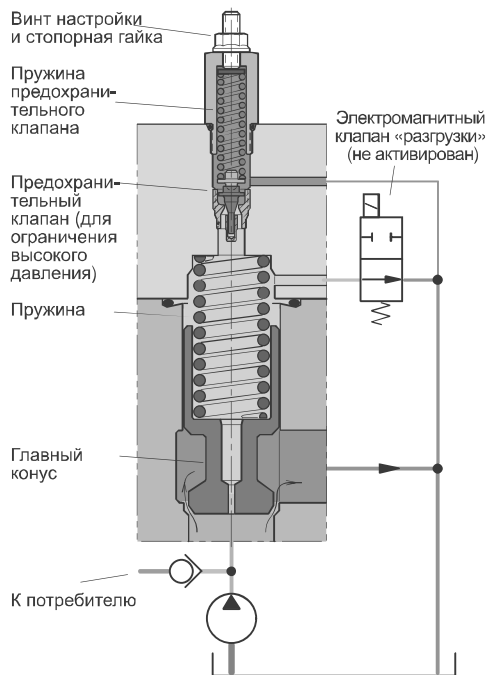


Рис. 6-34 Разгрузка насоса посредством выпуска из предохранительного клапана с пилотным управлением

При сбросе управляющего давления главный конус удерживается в закрытом положении только слабым усилием пружины. Это приводит к тому, что насос должен создавать относительно низкое давление, чтобы открыть конус.

ПРИМЕЧАНИЕ: Электромагнит может быть активирован, например, с помощью «аварийного выключателя» на приборной панели машины. Когда оператор нажимает (или вытягивает) ручку выключателя, поток насоса направляется в бак, и все включенные функциональные компоненты немедленно прекращают движение.

Разгрузка нерегулируемого насоса в контуре аккумулятора

В контуре аккумулятора при полностью заряженном аккумуляторе давление из насоса будет расти до тех пор, пока оно не преодолеет уставку предохранительного клапана с пилотным управлением. Контур поддерживает давление системы на постоянном уровне, но создает много тепла, которое может повредить насос и другие компоненты в контуре. Когда для создания потока системы используется аккумулятор, он выдает свой поток между максимальным и минимальным давлением.

При обычном предохранительном клапане с пилотным управлением в контуре, клапан будет задействовать насос как только давление в аккумуляторе упадет ниже уставки предохранительного клапана; это может быть нежелательным состоянием.

Для разгрузки насоса при очень низком давлении и поддержания его разгруженного состояния между циклами

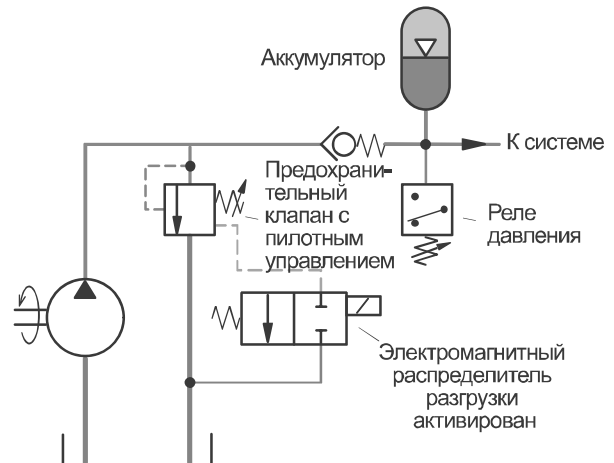


Рис. 6-35 Разгрузка нерегулируемого насоса (типичный метод с электромагнитом).

подзарядки аккумулятора могут быть использованы электрическое реле давления и двухлинейный электромагнитный седельный гидрораспределитель (Рис. 6-35).

Реле давления посылает электрический сигнал на электромагнит, управляющий двухлинейным седельным гидрораспределителем, который соединен с разгрузочным отверстием предохранительного клапана с пилотным управлением. Когда аккумулятор заряжается до необходимого максимального давления, реле давления замыкается, посылая сигнал на гидрораспределитель, который осуществляет разгрузку предохранительного клапана с пилотным управлением (Рис. 6-35).

Когда требуется подзарядка аккумулятора (при снижении давления до минимально допустимого уровня), реле давления размыкается, отключая электромагнит. Это позволяет пружине вернуть гидрораспределитель в закрытое состояние, прекращая выпуск из предохранительного клапана с пилотным управлением. Последний перекрывает канал возврата потока в бак, что позволяет насосу дозарядить аккумулятор и/или подавать рабочую жидкость в систему (насосно-аккумуляторный гидропривод. Прим. ред.).

Краткий итог главы

Клапан регулирования давления является очень важным компонентом гидросистемы. Он используется, в том или ином виде, в каждой мобильной гидросистеме. В соответствии с его названием, главная цель этого клапана — ограничивать давление в насосе или приводе, тем самым, исключая создание чрезмерного давления, которое может помешать функционированию компонента или даже разрушить его. Поэтому клапан регулирования давления может быть самым важным компонентом, способствующим предупреждению травматизма персонала.

Наиболее распространенным клапаном регулирования давления является предохранительный клапан, выпускаемый

Глава 6 - Клапаны регулирования давления

в двух вариантах: с прямым и пилотным управлением. Самым большим преимуществом клапана с прямым управлением является его быстрое открывание, и по этой причине он используется для ограничения ударов давления в приводе.

Клапан с пилотным управлением поддерживает давление около заданного значения независимо от расхода (до максимального заданного расхода). Другое преимущество заключается в том, что давление может задаваться дистанционно с помощью небольшого пилотного клапана.

Редукционный клапан поддерживает заданное давление на своём выходе. Он используется в той части гидросистемы, которая не может использовать (или выдерживать) полное давление системы (которое может значительно варьироваться).

Клапан последовательности является небольшим регулирующим клапаном, используемым для различных задач, в основном, в контурах пилотного управления.

Вариантами клапанов регулирования давления с пилотным управлением являются клапан компенсатора давления на входе/байпаса и редукционный компенсатор, встраиваемые в гидрораспределитель. Первый из упомянутых клапанов используется в системе «с постоянным расходом и замкнутым контуром» с нерегулируемым насосом, а второй — в чувствительной к нагрузке системе с насосом компенсированном по давлению.

Уравновешивающий клапан (или клапан удержания нагрузки) используется совместно с гидроцилиндром или гидромотором. Он предотвращает неконтролируемый выбег «подвешенной» нагрузки при опускании.

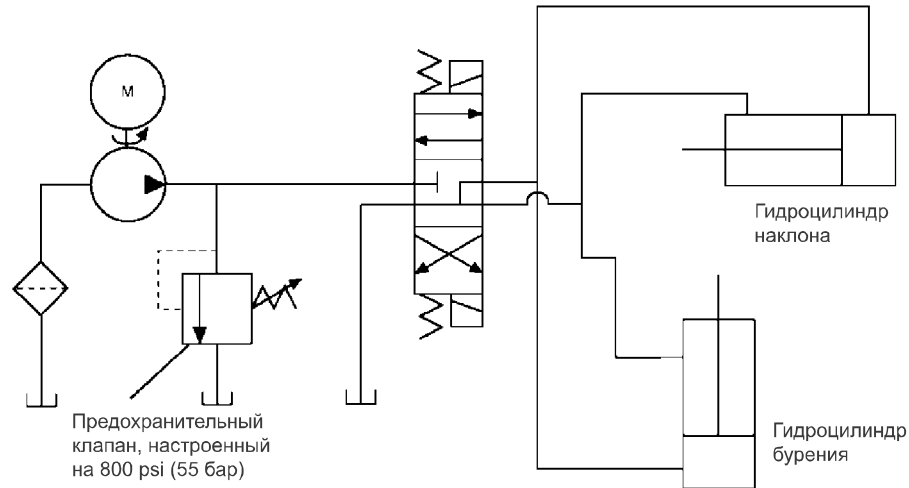
Примером специального клапана регулирования давления является предохранительный клапан аккумулятора, который используется, например, в контуре рулевого управления машины высокой проходимости, такой как фронтальный погрузчик. В случае отказа двигателя или насоса рулевого управления во время движения машины клапан рулевого управления соединяется с аккумулятором, который подаёт рабочую жидкость под давлением, необходимую для рулевого управления, до полной остановки машины.

Упражнения к главе 6

Клапаны регулирования давления

1. **Ситуация:** Гидроцилиндр наклона должен выдвигаться первым и удерживаться при давлении 35 бар (500 psi).

Проблема: Добавьте необходимые клапаны.



2. Предохранительный клапан патронного типа выполняет функции _____ и _____.
- a. выпуска, стравливания
 - b. выпуска, подпитки
 - c. выпуска, задания последовательности
 - d. выпуска, удержания нагрузки
3. С какими гидравлическими компонентами наиболее часто используются перекрестные предохранительные клапаны? _____
- a. клапанами
 - b. насосами удержания нагрузки
 - c. двухштоковыми гидроцилиндрами
 - d. гидромоторами
4. _____ является одним из методов разгрузки насоса.
- a. Использование компенсаторов на входе
 - b. Добавление клапана последовательности в контур
 - c. Встраивание обратных клапанов с пилотным управлением
 - d. Выпуск из предохранительного клапана
5. Главной целью _____ клапана является обеспечение бескавитационного опускания нагрузки и предотвращение выбега привода под действием веса нагрузки?
- a. уравнивающего
 - b. последовательности
 - c. редуцирующего
 - d. предохранительного
6. Что из следующего не является функцией, выполняемой редуцирующим компенсатором? _____
- a. ограничение максимального давления нагрузки
 - b. разгрузка аккумулятора
 - c. блокировка неиспользуемой подачи насоса на входе
 - d. обеспечение постоянного Δp на 4-линейном золотнике