

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

## СРЕДСТВА ГИДРОАВТОМАТИКИ

Лабораторные работы (практикум)  
по дисциплинам «Средства гидропневмоавтоматики»  
и «Элементы управления и регулирования гидропневмосистем»  
для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы  
мобильных и технологических машин»

Минск  
БНТУ  
2010

УДК 681.523.4 (076.5)

ББК 39.965.2я7

С 75

Составители:

*П.Р. Бартош, П.Н. Кишкевич, Л.Г. Филипова, И.П. Ус*

Рецензенты:

*И.М. Флерко, Л.А. Глазков*

С 75 Средства гидроавтоматики: лабораторные работы (практикум) по дисциплинам «Средства гидропневмоавтоматики» и «Элементы управления и регулирования гидропневмосистем» для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / сост.: П.Р. Бартош [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010. – 86 с.

В лабораторном практикуме освещены вопросы конструкций и принципа действия различных гидравлических аппаратов: гидродросселей, гидроклапанов, гидрораспределителей, гидравлических и электрогидравлических усилителей, включены методики определения их статических характеристик.

## ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении лабораторных работ каждый студент обязан строго выполнять следующие правила техники безопасности:

1. Включение учебных стендов производится только в присутствии преподавателя (инженера) после проверки технического состояния стенда и правильности монтажа исследуемой гидросистемы.

2. При перерыве в испытаниях стендовое оборудование должно отключаться от источников электроснабжения.

3. Тщательно следить за исправностью гидроаппаратов и агрегатов.

При обнаружении неисправностей экспериментальной установки или измерительных приборов немедленно прекратить работу и сообщить об этом руководителю занятий.

4. Не допускать при испытаниях превышения установленных норм по давлению и температуре рабочих жидкостей.

5. В случае травмы немедленно выключать экспериментальные установки, вызвать при необходимости врача и до его прибытия оказывать помощь пострадавшим.

### ***Категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ:***

- оставлять без надзора стенд при работающем электродвигателе;
- проводить монтаж/демонтаж и устранять неисправности элементов гидросистемы, находящихся под давлением;
- пользоваться неисправными инструментами и приборами;
- переставлять (без согласования с преподавателем) оборудование.

# Лабораторная работа № 1

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДРОССЕЛИ

**Цель работы:** изучение схем, конструкции и принципа действия гидравлических дросселей.

### 1. Порядок выполнения работы

1. Изучение схем, конструкций и принципа действия гидравлических дросселей по данному учебному пособию.
2. Практическое ознакомление с имеющимися в лаборатории моделями и узлами дросселей.
3. Составление отчета о работе с приведением в нем краткого описания и схем основных изучаемых устройств.

### 2. Краткое описание схем и конструкций гидродросселей

**Гидродроссели** предназначены для регулирования расхода жидкости и создания перепада давления на определенных участках гидролиний. Они исполняют роль гидравлических сопротивлений и относятся к регулирующим устройствам.

Дроссели находят практическое применение во всех гидроприводах мобильных и технологических машин, например, при ограничении расхода рабочей среды, регулировании скорости перемещения рабочих органов машин, торможении, демпфировании и синхронизации движения механических систем [1, 2] и т.д.

В гидродросселях (гидросопротивлениях) потери напора (давления) вызываются непосредственным действием сил трения или обусловливаются отрывом потока и вихреобразованием. Поэтому дроссели классифицируются:

- 1) на ламинарные (линейные);
- 2) турбулентные (нелинейные).

Оба типа таких дросселей могут быть:

- 1) постоянными (нерегулируемыми);
- 2) переменными (регулируемыми).

**Ламинарные дроссели** создают гидравлическое сопротивление потоку жидкости с линейной зависимостью между расходом и перепадом давления. Так как движение жидкости в них происходит без пульсаций скорости, потери возникают из-за трения о стенки канала (потери по длине канала). В качестве постоянных ламинарных дросселей можно использовать капилляры – каналы с малыми проходными сечениями  $d_0$  и большей длиной  $l_0$  ( $l_0/d_0 \gg 20$ ), в которых силы вязкого трения являются преобладающими (рисунок 1.1).

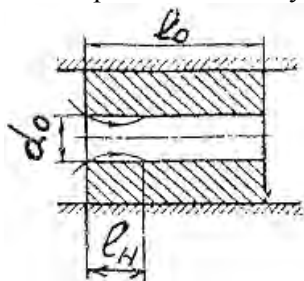


Рисунок 1.1 – Ламинарный дроссель

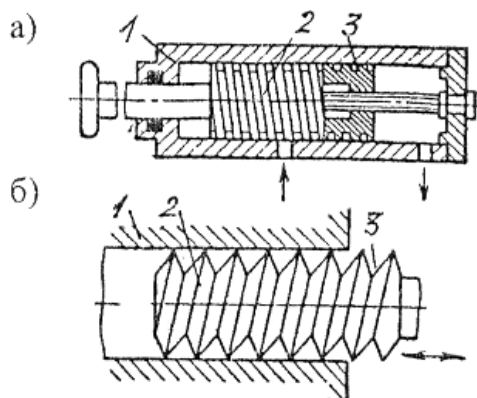
На начальном участке  $l_n$  капилляра из-за сжатия и отрыва потока жидкости при входе в него происходит частичное вихреобразование, поэтому на этом участке имеет место квадратичная зависимость между расходом и перепадом давления. С увеличением числа Рейнольдса  $Re$  или длины  $l_0$  растет величина участка  $l_n$ . Постоянные ламинарные дроссели еще называют втулками. Внутреннее сечение такого дросселя может быть различным по форме. Расход через дроссель с круглым сечением (без учета начального участка  $l_n$ ) определяется по формуле Пуазейля

$$Q = \frac{\pi d_0^4 \Delta p}{128 \mu l_0},$$

где  $\Delta p$  – перепад давления на дросселе;

$\mu$  – динамический коэффициент вязкости жидкости.

Переменные (регулируемые) ламинарные дроссели можно получить различными способами, например, перемещением в осевом направлении в корпусе 1 стержня 2 с винтовой канавкой 3 различной формы (рисунок 1.2, а, б). Можно такие канавки образовать и в корпусе или же вставить стержень без канавок (рисунок 1.3), где гидравлическое сопротивление будет создаваться длиной погружения стержня 2 в корпус 1 и концентрическим зазором  $\delta$ .



*a* – с квадратным проходным сечением;  
*б* – с треугольным проходным сечением

Рисунок 1.2 – Регулируемый ламинарный дроссель

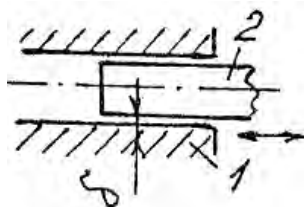


Рисунок 1.3 – Регулируемый ламинарный дроссель с концентрической щелью

Простейший **турбулентный (нелинейный, квадратичный) дроссель** представляет собой отверстие *1* диаметром *d* в пластинке *2* (рисунок 1.4, *a*), вставленной в трубопровод диаметром *D*. Причем это отверстие может иметь фаску *3* с одной или двух сторон пластинки *2*. В ряде случаев эти фаски имеют овальную форму. Можно также образовывать отверстия без фасок и различной формы. В ряде случаев делают несколько отверстий и размещают их в центре или на периферии пластинки. Толщина пластины *S* небольшая ( $Sl < 20$ ).

Такие дроссели создают гидравлическое сопротивление потоку жидкости с нелинейной (квадратической) зависимостью между расходом и перепадом давления, так как при внезапном сужении потока

жидкости и внезапном расширении его при проходе жидкости через дроссель получается вихреобразование. Расход через такой дроссель определяется по формуле Торричелли

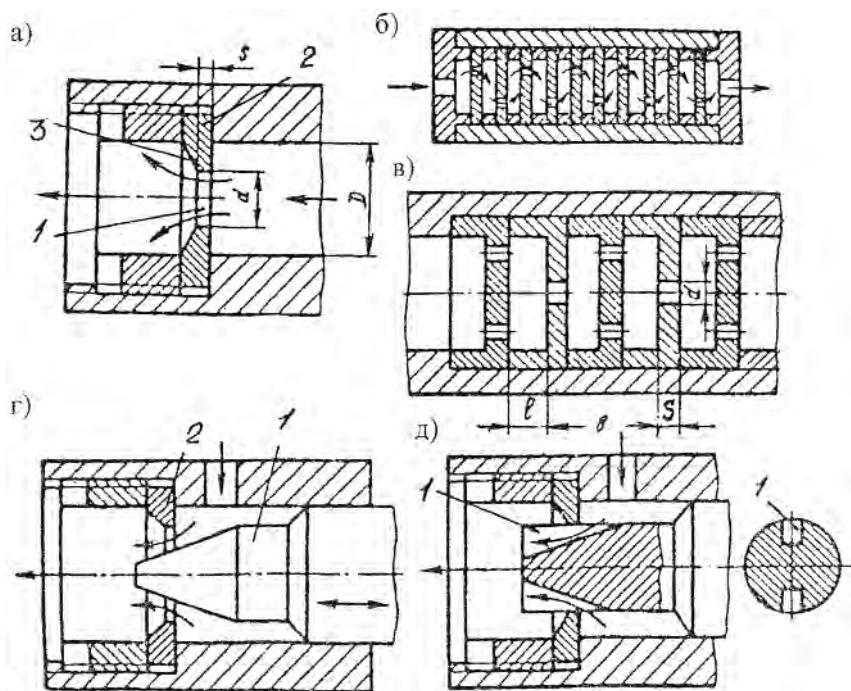
$$Q = \mu A \sqrt{2\Delta p / \rho},$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода;

$A$  – площадь проходного сечения дросселя;

$\Delta p$  – перепад давления на дросселе;

$\rho$  – плотность рабочей жидкости.



$a$  – со специальным профилем шайб;  $б$  – с пакетом шайб;  
 $в$  – со специальным профилем шайб;  $г$  – с коническим стержнем;  
 $д$  – со стержнями, содержащими протоки

Рисунок 1.4 – Турбулентные дроссели

Такие турбулентные дроссели часто называют шайбами.

Если необходимо создать большой перепад давления на дросселе, приходится делать в нем малые проходные сечения, но это может привести к засорению отверстия. Поэтому рекомендуется использовать пакеты турбулентных дросселей (рисунок 1.4, б, в), которые могут быть различной конструкции. Сопротивление дросселя зависит от числа пластин, а также величин  $l$ ,  $s$ ,  $d$ .

Переменные турбулентные дроссели имеют различную конструкцию. Например, можно получить такой дроссель, вставляя и выдвигая конический стержень 1 в отверстие пластины 2 (см. рисунок 1.4, з), меняя проходное сечение последнего. Отверстия и стержни могут быть разными и содержать проточки 1 (см. рисунок 1.4, д) различных форм или же не иметь этих проточек.

Кроме того, турбулентный дроссель в ряде случаев содержит стержень, совершающий не возвратно-поступательное движение, как это было написано выше, а поворотное (рисунок 1.5). При повороте в корпусе 1 стержня 2 с образованной в нем проточкой 3 изменяется проходное сечение дросселя. Такие дроссели называют крановыми (или пробковыми). Конструкция их также разная.

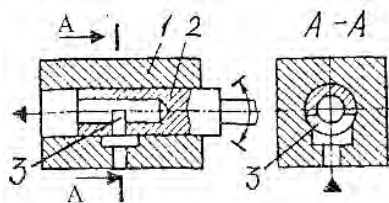


Рисунок 1.5 – Крановый (пробковый) дроссель)

Конструктивная схема турбулентного дросселя с переменным числом рабочих окон показана на рисунке 1.6. Она включает стержень 1 с круглыми шайбами, обрезанными с одной стороны, винт 2 и корпус 3.

В гидроприводах и устройствах гидроавтоматики применяются турбулентные регулируемые дроссели типа «сопло-заслонка» с цилиндрическими (рисунок 1.7, а) или комбинированными (рисунок 1.7, б) насадками 3, содержащими сопло 1 и заслонку 2, дросселирующая щель  $X$  между которыми устанавливается величиной перемещения заслонки влево или вправо от нейтрального положения. Жидкость



может поступать из сопла к заслонке (рисунок 1.7, в) или наоборот (рисунок 1.7, з).

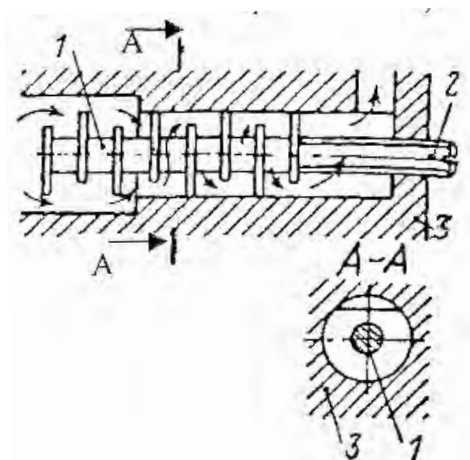


Рисунок 1.6 – Дроссель с переменным числом окон

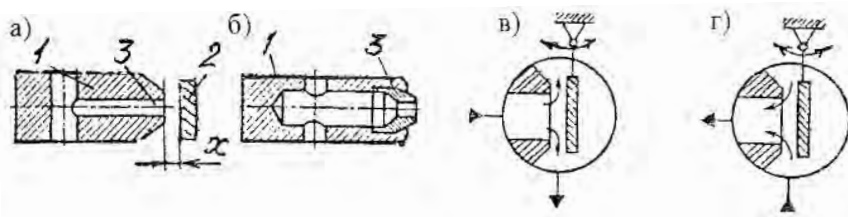


Рисунок 1.7 – Дроссели «сопло-заслонка»

Широкое распространение получили золотниковые регулируемые дроссели с проточкой в корпусе (гильзе) 2 (рисунок 1.8, а) и с отверстием 1 в корпусе 2 (рисунок 1.8, б). Дросселирующая щель 3 изменяется путем возвратно-поступательного перемещения цилиндрического золотника 4, запорно-регулирующий поясok 5 которого может выполняться цилиндрическим, коническим, с фаской или без нее, с проточками в поясе золотника или без них.

Если дроссели выполнены с отверстиями 1 (рисунок 1.8, б) в корпусе 2, то последние могут иметь круглую, овальную, треугольную (рисунок 1.8, в) и другую форму, что позволяет улучшить статические характеристики дросселя.

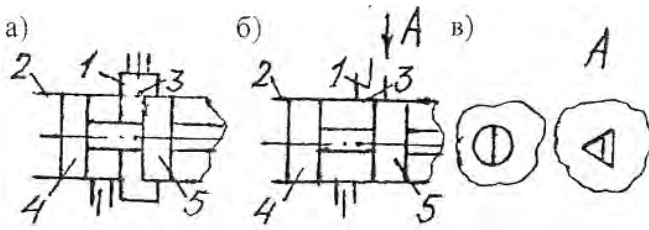


Рисунок 1.8 – Золотниковые регулируемые дроссели

Условные обозначения дросселей по ГОСТ 2.784-96:

- 1) постоянный (рисунок 1.9, а);
- 2) переменный (рисунок 1.9, б);
- 3) квадратичный (рисунок 1.9, в).

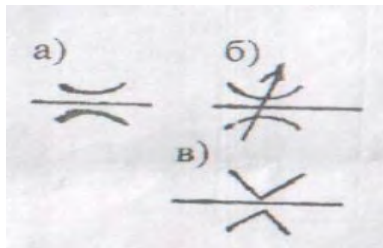


Рисунок 1.9 – Условное обозначение дросселей

На рисунке 1.10, а приведена конструкция регулируемого гидродросселя с обратным клапаном типа ДРКО. Он содержит корпус 1 с образованными в нем отверстиями 4 и 6, поворотную втулку 2 с проточкой 5 в ней, обратный конический клапан 3. Между проточкой 5 и отверстием 4, заканчивающимся определенной формой, имеется дросселирующая щель 7, проходное сечение которой уменьшается при повороте на резьбе 8 втулки 2 и смещении ее вправо. Поток рабочей жидкости приводится в отверстия А и В (на рисунке 1.10, а они показаны заглушенными пробками для транспортного положения).

При направлении потока из отверстия А в отверстие В дроссель обеспечивает свободный проход жидкости, в основном, через встроенный обратный клапан 3. При прохождении жидкости в обратном направлении происходит дроссельное регулирование потока при перемещении цели 7. Условное обозначение такого клапана показано на рисунке 1.10, б.

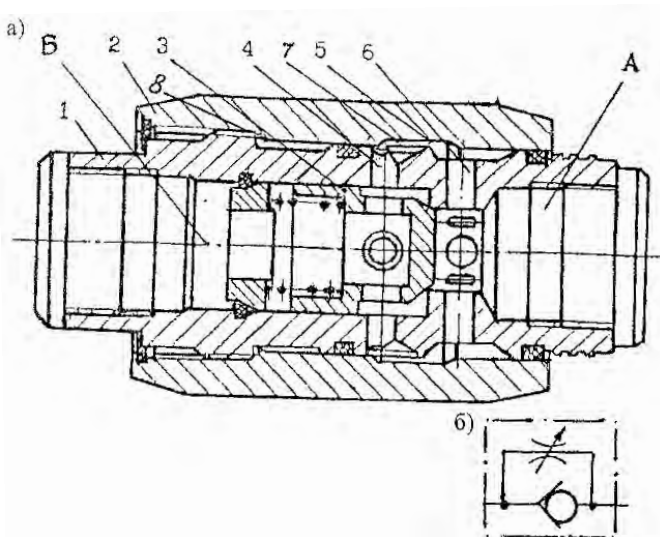


Рисунок 1.10 – Гидродроссель с обратным клапаном

На рисунке 1.11 показана конструкция гидродросселя типа ДК. В расточках корпуса 1 гидродросселя расположены дроссельный золотник 5 и обратный клапан 3, прижатый пружиной 2 к седлу, выполненному в корпусе 1.

Рабочие щели дросселя образуются сопротивлением треугольных пазов (усиков) на дроссельном золотнике 5 с коническим участком  $D$  отверстия в корпусе.

Величина рабочей щели дросселя при регулировании расхода изменяется перемещением дроссельного золотника 5 вдоль оси, которое осуществляется рукояткой 7, поворачивающей через штифт 8 втулку 9, сидящую в расточке крышки 10. Закрепленный во втулке 9 штифт 11 воздействует на винтовую канавку, выполненную в шейке дроссельного золотника 5. От поворота вокруг своей оси золотник удерживается штифтом 12, который ходит по пазу корпуса. Стопорение рукоятки 7 в настроенном положении осуществляется винтом 6. Зазор между штифтом 11 и стенками винтовой канавки на дроссельном золотнике 5 выбирается пружиной 4.

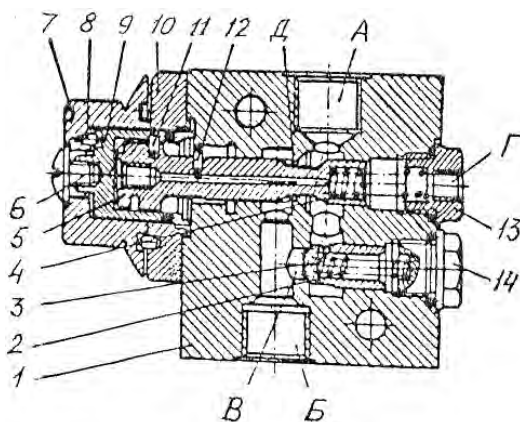


Рисунок 1.11 – Конструкция гидродросселя типа ДК

Отверстия в корпусе 3 и 4 закрыты пробками 13 и 14. В пробке 13 для отвода утечек сделано присоединительное отверстие Г. При подводе рабочей жидкости к дросселю через отверстие А она проходит дросселирующие щели Д и выходит через отверстие Б. При подводе к дросселю через отверстие Б жидкость в основном поступает в отверстие В, преодолевая усилие слабой пружины 2 и перемещая обратный клапан 3, затем свободно выходит через отверстие А, минуя дросселирующие щели Д. Условное обозначение такого дросселя показано на рисунке 1.10, б.

### Контрольные вопросы

1. Назначение и применение дросселей.
2. Зачем в дросселе в ряде случаев используется обратный клапан?
3. Типы и принцип действия гидродросселей.
4. Физика процессов, происходящих в ламинарных и турбулентных дросселях.
5. Почему рекомендуется иногда использовать пакет гидродросселей?
6. Типы золотниковых гидродросселей.
7. Показать на разрезных моделях основные детали гидродросселей.

## Лабораторная работа № 2

### ГИДРОКЛАПАНЫ, РЕГУЛЯТОРЫ, ДЕЛИТЕЛИ И СУММАТОРЫ ПОТОКА

**Цель работы:** изучение схем, принципа действия и конструкции гидроаппаратов.

#### 1. Порядок выполнения работы

1. Изучение схем, принципа действия и конструкции гидроаппаратов по данному учебному пособию с использованием рекомендуемой литературы.

2. Практическое ознакомление с имеющимися в лаборатории моделями и деталями гидроаппаратов.

3. Составление отчета о работе с приведением в нем краткого описания и схем основных гидроаппаратов, изучаемых в данной работе.

#### 2. Обратные гидроклапаны

**Обратные клапаны** относятся к направляющей аппаратуре и служат для пропускания рабочей жидкости только в одном направлении и перекрытия обратного потока. Поэтому их еще называют запорными клапанами. В соответствии с этим они должны создавать полную герметичность в закрытом положении и иметь минимальное гидравлическое сопротивление в открытом положении. Существует много типов обратных клапанов, отличающихся друг от друга, в основном, конструкцией запорного элемента (в виде шарика, конуса, золотника, жесткой или гибкой пластины и т.д.).

На рисунке 2.1, *a* показана конструкция обратного клапана с коническим запорным элементом. В корпусе 4 выполнена цилиндрическая расточка 10 и соосная с ней коническая фаска 11, а также каналы подвода 7 и отвода 6 жидкости. В корпусе размещен запорный конический элемент в виде клапана 5, прижатый с помощью пружины 3 и крышки 1 своей конической частью 8 к седлу (фаске) 11. При отводе жидкости клапан 5 отходит от седла 11 и обеспечивает движение жидкости через расточку 10 в канал 6. При обратном направлении потока жидкости клапан 5 плотно прижимается к седлу 11 корпуса 4 и перекрывает проход из канала 6 в канал 7. Отверстие 9 предназначено для дренажа между полостями 2 и 10.

Условное упрощенное обозначение обратных клапанов по ГОСТ 2.782-96 показано на рисунке 2.1, б. Детальное обозначение приведено в данном ГОСТ.

Клапаны с жестким пластинчатым запорным элементом 1 (рисунок 2.1, в) имеют малый вес подвижной части (пластинки 1). В сочетании со слабой пружиной 2 такой клапан легко открывается, даже при малом давлении и имеет небольшое гидравлическое сопротивление. Пластинчатые обратные клапаны с гибкой пластиной (в виде «языка», закрепленного с одной стороны в корпусе) обычно прижимаются к седлу не пружиной, а грузиком, закрепленным сверху на гибкой пластине, которая отклоняется на некоторый угол вверх при открытии клапана.

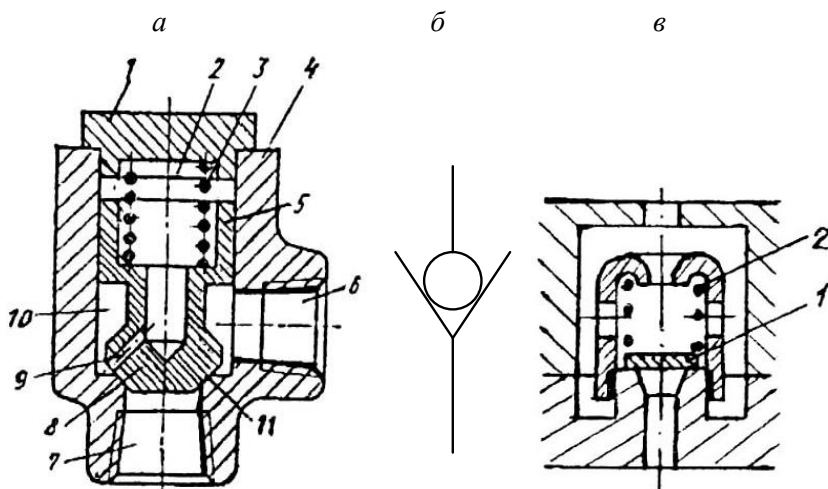


Рисунок 2.1 – Конструкции обратных клапанов

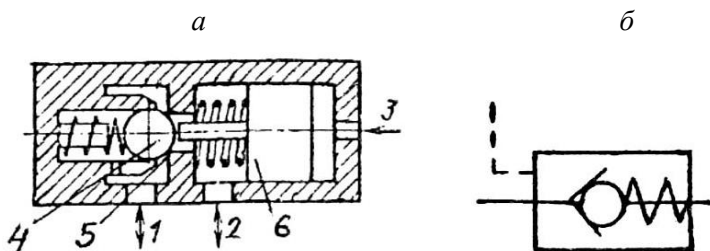
Для надежного закрытия канала иногда ставят сдвоенные обратные гидроклапаны, включенные в поток жидкости последовательно.

### 3. Гидравлические замки

**Гидравлические замки** служат для пропускания жидкости только в одном направлении и используются чаще всего для автоматического запираания жидкости в полостях гидродвигателя, например, с целью фиксирования поршня силового цилиндра в заданных положениях.

В случаях, когда при наличии гидравлического управляющего сигнала необходимо пропускать поток в обоих направлениях, а при отсутствии сигнала управления – в одном направлении, применяют односторонние гидрозамки. Конструктивная схема такого аппарата показана на рисунке 2.2, *а*. Если давление в гидролинии 3 отсутствует, то при прямом движении жидкости от магистрали 2 к магистрали 1 запорный элемент 4 отжимается влево от седла 5, а поршень 6 с толкателем перемещается вправо. При изменении направления потока в гидромагистралях 1 и 2 на обратное движение запорный элемент 4 прижимается к седлу 6, и движение жидкости прекращается. Если в гидролинии 3 подведена жидкость под давлением управления, то поршень 6 с толкателем перемещается влево. В этом случае жидкость будет проходить через гидрозамок независимо от направления ее движения.

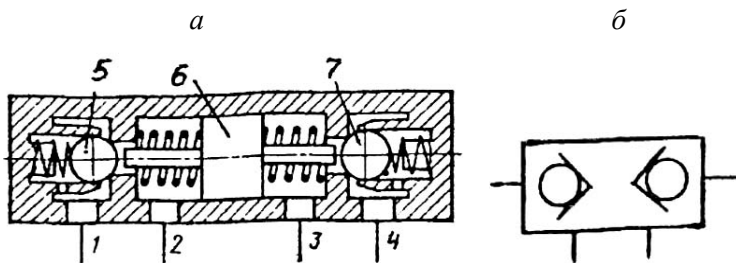
Упрощенное обозначение одностороннего гидрозамка по ГОСТ 2.781-96 показано на рисунке 2.2, *б*.



*а* – конструкция; *б* – условное обозначение

Рисунок 2.2 – Односторонний гидрозамок

На рисунке 2.3, *а* приведена конструктивная схема двустороннего гидрозамка. Гидролинии 2 и 3 подсоединяются к управляющему гидрораспределителю, а гидролинии 1 и 4 – к рабочим полостям гидродвигателя, например, гидроцилиндра. При подводе жидкости к гидролинии 2 левый запорный (обратный) клапан 5 открывается, и жидкость проходит через гидролинию 1, например, в левую полость силового цилиндра. При этом давлением жидкости поршень 6 смещается вправо и открывает правый запорный (обратный) клапан 7, обеспечивая проход жидкости, отводимой из гидролинии 3, связанной с правой полостью силового цилиндра, в гидролинию 4, соединенную с гидрораспределителем.



*a* – конструктивная схема; *б* – условное обозначение

Рисунок 2.3 – Двухсторонний гидрозамок

При подаче жидкости от распределителя в гидролинию 3 осуществляется реверс, то есть гидрозамок работает аналогично, но в обратном направлении. В этом случае, если циркуляция жидкости через гидрораспределитель не проходит (что соответствует среднему положению распределителя), обратные клапаны 5 и 7 закрываются и запирают жидкость в полостях силового цилиндра (в гидролиниях 1 и 3), фиксируя поршень и удерживая его на нагрузку в заданном положении.

На рисунке 2.3, б показано упрощенное обозначение двухстороннего гидрозамка по ГОСТ 2.781-96. В этом же ГОСТ приведено детальное обозначение гидрозамков.

#### 4. Гидроклапаны последовательности, выдержки времени и реле давления

**Гидроклапаны последовательности** (рисунок 2.4) относятся к направляющим гидроаппаратам и используются для пропускания потока рабочей жидкости из напорной гидролинии 1 в гидролинию 2 при достижении в клапане заданной величины давления. Клапан откроет сообщение между линиями 1 и 2 только тогда, когда сила давления на плунжер 5 в полости 3 превысит усилие пружины 4. Такие клапаны могут включаться не только потоком жидкости в подводящей (напорной) линии 1, но и потоком от отдельной линии, например, от источника управления, размещенного дистанционно. В этом случае напорная линия 1 не сообщается с полостью 3, и последняя соединяется с отдельной линией управления.



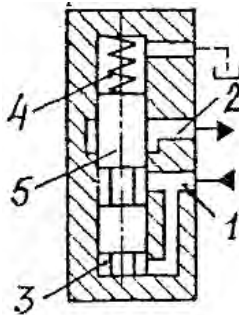


Рисунок 2.4 – Клапан последовательности

Условное обозначение клапана последовательности по ГОСТ 2.781-96 приведено на рисунке 2.5.

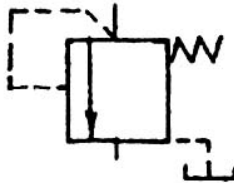


Рисунок 2.5 – Условное обозначение клапана последовательности

Гидроклапаны последовательности представляют собой реле давления с гидравлическим входом. Простейший **гидроклапан выдержки времени** (рисунок 2.6) предназначен как для пуска, так и для останова потока жидкости в одной из отводящих гидролиний 6 и 7 через заданный промежуток времени после подачи управляющего сигнала  $P_{упр}$ . В корпусе 4 распределителя расположен поршень (золотник) 3, подпружиненный пружиной 5. При подаче сигнала управления  $P_{упр}$  через вспомогательный распределитель 1 золотник последнего перемещается вниз, то есть жидкость проходит в дроссель 2 и торцовую верхнюю полость 8 золотника 3. Сила давления с течением времени в последней нарастает, и золотник 3, преодолевая усилие пружины 5, перемещается вправо. В линию 6 поток жидкости не поступает, а начинает подводиться в линию 7. Время переключения регулируется дросселем 2.

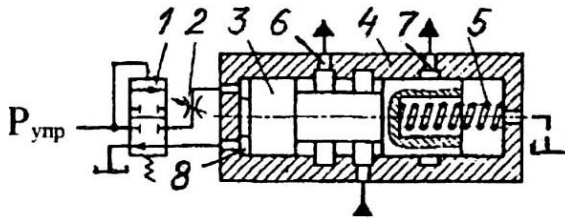


Рисунок 2.6 – Клапан выдержки времени

## 5. Редукционные гидроклапаны

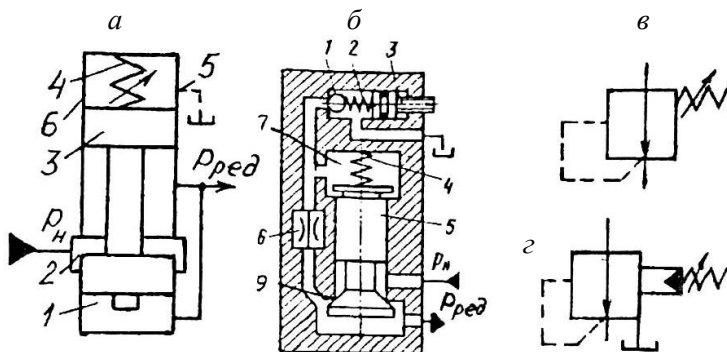
**Редукционные клапаны** предназначены для уменьшения давления жидкости в гидролинии, отводимой от основной линии, и поддержания этого давления или перепада давления на постоянном уровне.

Они используются в тех случаях, когда к гидролинии, давление в которой выше, чем требуется потребителю, подключается один или несколько потребителей, рассчитанных на разное давление питания. Такие клапаны также применяются для уменьшения и стабилизации давления питания в предварительных каскадах усиления гидроусилителей.

На рисунке 2.7, а показана схема редукционного клапана **прямого действия**, состоящего из корпуса 6, золотника 3, регулируемой пружины 4. Между корпусом 6 и золотником 3 образована рабочая щель 2. Дренаж осуществляется через гидролинию 5. Величина регулируемого давления  $P_{упр}$  устанавливается с помощью пружины

4.  $P_{ред} < P_n$  ( $P_n$  – давление в напорной гидролинии),  $P_{ред} = const$ .

Если по какой-то причине давление  $P_{ред}$  начнет повышаться, то оно будет увеличиваться и в торцевой полости 1. Следовательно, сила давления в этой полости на золотник 3 будет больше усилия пружины 4. Золотник переместится вверх, рабочая щель 2 уменьшится, а, следовательно, снизится и  $P_{ред}$ , то есть останется прежним. Если по какой-то причине  $P_{ред}$  уменьшится, то сила давления в полости 1 тоже снизится. Золотник 3 опустится, и рабочая щель 2 увеличится, а, значит, увеличится  $P_{ред}$ , то есть останется прежним.



а – прямого действия; б – непрямого действия;  
 в – условное обозначение клапана прямого действия;  
 з – условное обозначение клапана непрямого действия

Рисунок 2.7 – Редукционные клапаны

Конструктивная схема редукционного гидроклапана **непрямого действия** показана на рисунке 2.7, б. Основной клапан 5 управляется с помощью вспомогательного, состоящего из запорно-регулирующего элемента 1, пружины 2, регулировочного винта 3 и постоянно-го дросселя 6.

В междроссельной камере 7 расположена пружина 4, открывающая рабочую щель 9 клапана 5 при давлениях  $P_{ред}$  на выходе клапана ниже заданных. Если  $P_{ред}$  по какой-то причине повышается, то на нижний торец клапана 5 действует большая сила давления, и последний перемещается вверх, уменьшая рабочую щель 9 и величину  $P_{ред}$ , то есть последняя остается прежней (заданной). В этом клапане при увеличении давления  $P_n$  и потока жидкости в напорной гидролинии создается перепад давления на дросселе 6 (при открытом клапане 1), а, следовательно, увеличивается перепад давлений, действующих на нижний и верхний торцы клапана 5. Последний поднимается, уменьшая щель 9. Поэтому приток жидкости на выходе клапана уменьшается, и  $P_{ред}$  остается постоянным (заданным). На рисунке 2.7, в, з показаны соответственно условные обозначения редукционных гидроклапанов прямого (одноступенчатого, однокаскадного) и непрямого (двухступенчатого, двухкаскадного) действия по ГОСТ 2.781-96.

## 6. Делители потока, гидроклапаны соотношения и разности давлений

Для обеспечения определенного соотношения или равенства скоростей, например, двух гидродвигателей, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, если к абсолютной величине этих скоростей не предъявляется жестких требований, применяются **гидроклапаны соотношения расходов**, предназначенные для поддержания заданного соотношения расходов рабочей жидкости в двух или более параллельных потоках.

К гидроклапанам соотношения расходов относятся **делители потока**, предназначенные для разделения одного потока жидкости на два и более и поддержания расходов в разделенных потоках в определенном соотношении. На рисунке 2.8, *а* приведена схема делителя потоков с клапанными запорно-регулирующими элементами. Делитель состоит из блока подвижных сопел 2, способных перемещаться в осевом направлении относительно корпуса 3, и двух упоров-заслонок 1 и 4. Положение блока сопел 2 определяется перепадом давления на его торцах. В случае увеличения давления на одном из торцов блока сопел, например, на левом, что соответствует уменьшению расхода жидкостей из него, блок сместится вправо и уменьшит правый зазор между соплом и заслонкой 4, что приведет к уменьшению расхода в гидролинии, подключенной к правой торцевой полости, то есть расходы через последнюю и левую торцевую полости выравниваются.

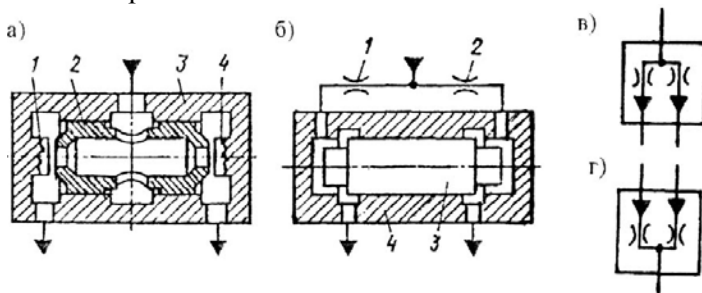


Рисунок 2.8 – Делители и сумматоры потока

Для разделения потоков на два неравных потока необходимо диаметры соответствующих сопел выполнять в отношении, которое зависит от соотношения разделяемых потоков. Более высокую точность соотношения можно получить делителем потока (рисунок 2.8, *б*), со-

стоящим из двухщелевого золотникового распределителя 3 и двух постоянных дросселей 1 и 2, смонтированных в корпусе 4. При изменении одного из разделяемых потоков в торцевой полости золотника 3 изменяется и давление в этой полости. Поэтому последний перемещается в сторону с меньшим давлением. Расходы через рабочие щели золотника выравниваются. Если необходимо получить соотношение двух неравных потоков жидкости, необходимо установить дроссели 1 и 2 с разными гидравлическими сопротивлениями или использовать регулируемые дроссели и установить на них необходимые перепады давлений.

Условное обозначение синхронизаторов расходов по ГОСТ 2.781-96: делитель потока (рисунок 2.8, в); сумматор потока (рисунок 2.8, з).

Для поддержания постоянного соотношения давлений в подвodom 4 и отводимом 5 потоках рабочей жидкости применяются **клапаны соотношения давлений** (рисунок 2.9, а). Такой клапан содержит корпус 3, в который вставляется цельный золотник или же золотник 2 и плунжер-толкатель 1, как показано на схеме, что является более технологичной конструкцией. Изменение давления в одной из гидролиний (4 или 5) приводит к перемещению золотника 2, и соотношение перепада давлений в этих гидролиниях восстанавливается. Это соотношение определяется отношением эффективных площадей золотника (правого и левого торца), обратно пропорциональным соотношению перепадов давлений.

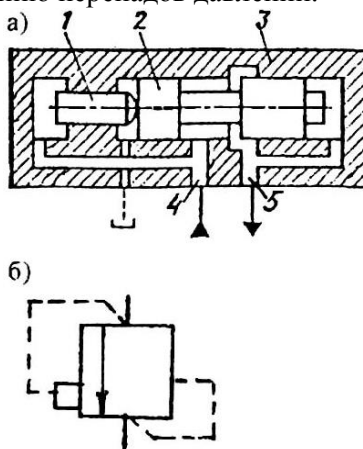


Рисунок 2.9 – Клапан соотношения давлений

Условное изображение клапана соотношения давлений по ГОСТ 2.781-96 приведено на рисунке 2.9, б. Когда требуется в двух гидролиниях 4 и 5 поддерживать постоянную разность давлений, применяют клапаны разности давлений (рисунок 2.10). В корпусе размещен золотник 2, имеющий с корпусом 1 одну рабочую щель 6, и силовая регулирующая пружина 3. Торцовые полости золотника 3 соединены каналами с гидролиниями 4 и 5. Разность перепадов давлений на торцах золотника 2, а, следовательно, в подводимой 4 и отводимой 5 гидролиниях, определяется соотношением силы сжатия пружины 3 и эффективной площади сечения цилиндрического золотника. Поэтому при изменении требуемой разности давлений в линиях 4 и 5 необходимо изменить силу сжатия пружины 3. Обычно это делается регулировочным винтом, который на схеме не показан. Таким образом, разность давлений устанавливается в зависимости от того, какая щель 6 будет в клапане в результате действия слева на золотник силы давления подводимого потока, а справа – силы давления отводимого потока и усилия сжатия пружины 3. Устанавливается баланс сил, действующих на золотник 2 слева и справа. Условное обозначение клапана разности давлений по ГОСТ 2.781-96 показано на рисунке 2.10, б.

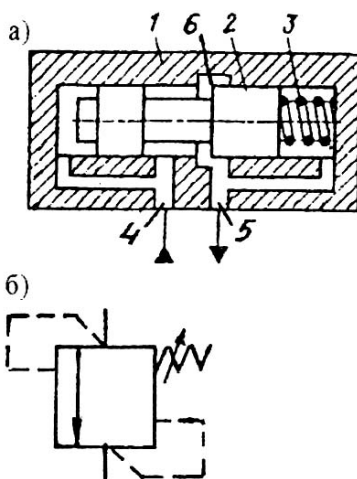


Рисунок 2.10 – Клапан разности давлений

## **Контрольные вопросы**

1. Назначение и принцип действия гидроаппаратов, изучаемых в работе.
2. Условное обозначение этих аппаратов по ГОСТ 2.781-96.
3. Показать основные детали гидроаппаратов, изучаемых в работе на имеющихся в лаборатории макетных образцах этих аппаратов.

# Лабораторная работа № 3

## ОДНОКАСКАДНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ КЛАПАНЫ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

**Цель работы:** изучение схем, конструкций и работы клапанов прямого действия.

### 1. Порядок выполнения работы

1. Изучение схем, конструкций и принципа действия предохранительных клапанов прямого действия по данному учебному пособию.

2. Практическое ознакомление с имеющимися в лаборатории моделями и узлами клапанов прямого действия.

3. Составление отчета о работе с приведением в нем краткого описания и схем изучаемых устройств.

### 2. Предохранительные клапаны прямого действия

В таких устройствах рабочее проходное сечение между запорно-регулирующим элементом и его седлом изменяется в результате непосредственного (прямого) воздействия потока рабочей жидкости на этот элемент.

**Предохранительные клапаны прямого действия** предназначены для предохранения гидроприводов от давления рабочей жидкости, превышающего установленные величины.

Предохранительные клапаны относятся к устройствам эпизодического действия, т.е. при нормальных нагрузках гидроприводов их запорно-регулирующие элементы закрыты и открываются лишь при давлении жидкости в гидросистеме, превышающем установленное. Такие клапаны находят применение практически во всех мобильных и технологических машинах.

Существует много конструкций таких гидроклапанов, но их все объединяет общий принцип работы: условия протекания рабочей жидкости через клапан зависят от давления в каналах управления клапана.

Сила  $F$ , возникающая на запорно-регулирующем элементе  $1$  клапана от действия давления  $p$  управления (давления в гидросистеме), сравнивается с усилием пружины  $F_{пр}$ , которое также приложено к этому элементу, но направлено, как правило, в противоположную сторону действия силы давления жидкости (рисунок 3.1, поз. 1). В зависимости от того, какая из этих сил больше, запорно-регулирующий



элемент перемещается в корпусе клапана в ту или другую сторону и открывает или перекрывает проход рабочей жидкости через клапан. Так как пружина клапана действует на запорный элемент в сторону перекрытия потока, такой клапан называют нормально закрытым.

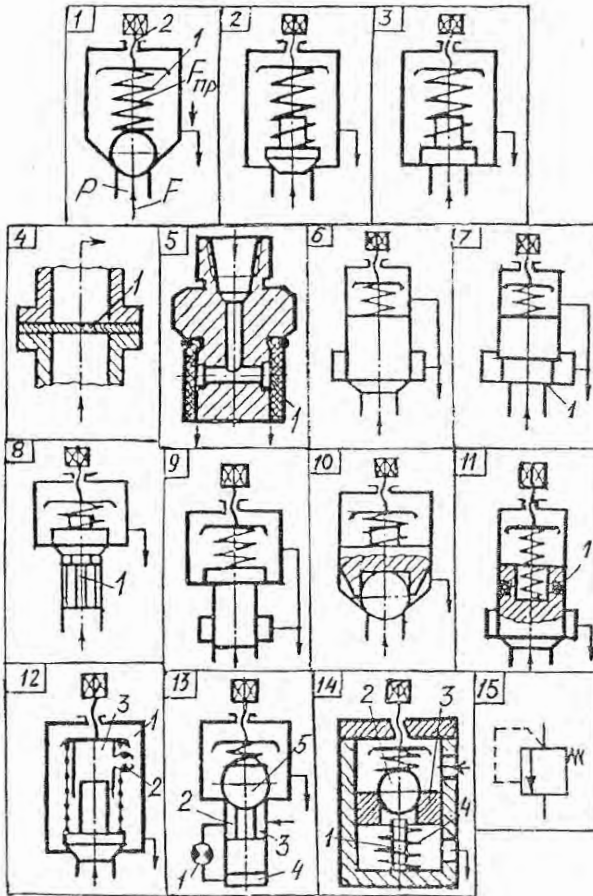


Рисунок 3.1 – Классификация предохранительных клапанов прямого действия

Усилие  $F_{np}$  пружины 1 регулируется с помощью винта 2 (см. рисунок 3.1, поз. 1).

Основные требования к предохранительным клапанам: высокая герметичность сопряжения, седло-запорный элемент, стабильность давления настройки.

Из большого числа различных схем предохранительных клапанов прямого действия можно выделить следующие:

**1. Клапаны с прямым потоком жидкости, без демпфирования и с несцентрированным запорным органом (элементом) (рисунок 3.1):**

- 1) шариковые (поз. 1);
- 2) конические (поз. 2);
- 3) тарельчатые (поз. 3);
- 4) с разрывной диафрагмой 1 (поз. 4);
- 5) с трубкой растяжения 1 (поз. 5).

Запорные элементы клапанов (поз. 1–3) не сцентрированы в корпусе, поэтому при перемещении их или при возникших вибрациях может происходить смещение этих элементов, приводящее к преждевременному износу седла. Клапан (поз. 4) – однократного действия с разрушающей диафрагмой 1, а другой клапан (поз. 5) – с трубкой растяжения 1, выполненной из эластичного материала.

**2. Клапаны с прямым потоком жидкости и со сцентрированным запорным органом (рисунок 3.1):**

- 1) конические (поз. 6);
- 2) с плоской фермой запорного элемента 1 (поз. 7);
- 3) с канавками 1 на центрирующей поверхности запорного элемента (поз. 8);
- 4) золотниковые (поз. 9);
- 5) шариковые (поз. 10).

Запорный орган в этих клапанах сцентрирован в корпусе, поэтому седло подвержено меньшему разрушению. Кроме того, возникающая сила трения при движении запорного органа позволяет частично демпфировать возможные вибрации.

**3. Клапаны с прямым потоком жидкости, со сцентрированным запорным органом и демпфированием его движения (рисунок 3.1):**

- 1) с фрикционным демпфированием, например, с помощью установленного кольца 1 (поз. 11);
- 2) с гидравлическим демпфированием: а) в сливной полости 1 с помощью специального дросселя (отверстия) 2, задерживающего перетекание жидкости из полости 3 в полость 1 (поз. 12); б) с демпфированием движения запорного органа 5, уменьшением его возможных колебаний, когда дроссель 1 в напорной полости 2 задерживает перетекание жидкости между полостями 3 и 4 (поз. 13).

4. **Клапаны с обратным потоком жидкости** (рисунок 3.1, поз. 14), содержащие обычно упор 1.

Запорный элемент 2 прижат к подвижному звену седлу 3. При превышении допустимой величины давления рабочей жидкости седло 3 опускается, сжимая пружину 4, шарик 2 упирается в упор 1, а седло под действием давления продолжает опускаться вниз. В результате образуется зазор между седлом и запорным элементом, через который и происходит перетекание жидкости из напорной полости в сливную (направление движения жидкости показано стрелками).

Условное графическое обозначение предохранительных клапанов прямого действия согласно ГОСТ 2.781-96 приведено на рисунке 3.1, поз. 15.

На рисунке 3.2 представлен предохранительный клапан, выполненный по схеме, представленной на рисунке 3.1, поз. 6. Клапан содержит корпус 1, запорный элемент 2, пружину 3 и винт 4, с помощью которых устанавливается величина регулируемого давления жидкости. При превышении давления жидкости во входной полости  $p$  запорный элемент 2 поднимается, сжимая регулировочную пружину 3, и рабочая жидкость частично вытекает в сливную полость  $T$ .

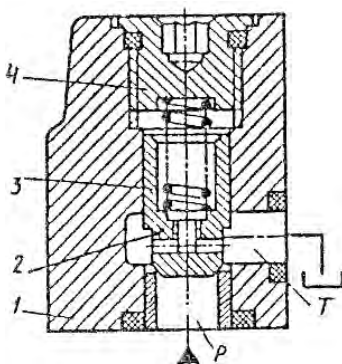


Рисунок 3.2 – Предохранительный клапан прямого действия

На рисунке 3.3 изображен предохранительный клапан, выполненный по схеме, представленной на рисунке 3.1, поз. 13, отличающийся только тем, что в качестве запорного элемента использован золотник 2.

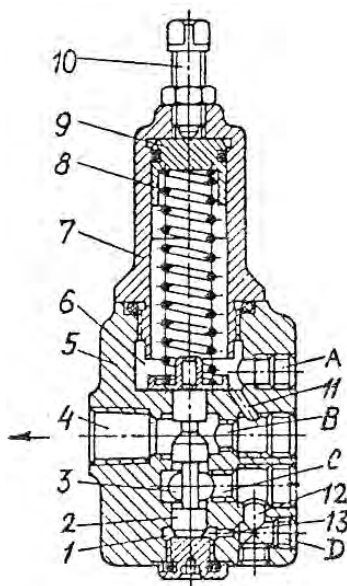


Рисунок 3.3 – Предохранительный клапан

Клапан состоит из корпуса 5, колпачка 7, золотника 2, пружины 8, регулировочного винта 10 и втулки 9. Рабочая жидкость из напорной гидрوليнии подводится в полость 3 и отводится в сливную линию через отверстие 4. Полость 3 через канал 12 в корпусе и малое отверстие 13 (демпфирующий дроссель) соединена с нижней торцевой полостью 1 золотника 2. Верхняя торцевая полость 6 золотника соединена каналом 11 с отверстием 4 для осуществления дренажа при подъеме золотника 2. Если давление в напорной линии меньше допустимой величины, золотник 2 находится в нижнем положении под действием пружины 8, и поясok его разделяет полости 3 и 4. Усилие пружины регулируется винтом 10. Как только давление рабочей жидкости станет больше допустимого, под действием давления в полости 1 на торец золотника 2 последний перемещается вверх, соединяя полости 3 и 4, и жидкость выпускается на слив в бак. При необходимости изменения подсоединения и функций клапана можно переставлять пробки в отверстиях A, B, C, D (таблица 3.1). Такой клапан может также выполняться не только с резьбовым подсоединением, но и со стыковым исполнением. При установке в корпусе таких аппаратов обратного клапана получается предохранительный клапан.

тельный клапан, исключающий возможность самопроизвольного выключения исполнительного устройства (гидроцилиндра).

Таблица 3.1

Номер схемы	Схема работы гидроклапана	Наличие пробок в каналах				Назначение гидроклапана
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	
1		есть	нет	нет	есть	Поддержание заданной разности давлений в подводимом и отводимом потоках рабочей жидкости (клапан разности давлений)
2		есть	нет	есть	нет	Пропускание потока рабочей жидкости при достижении заданной величины давления в управляющей линии X, определяемой настройкой пружины и величиной давления на выходе из аппарата
3		нет	есть	есть	нет	Пропускание потока рабочей жидкости в обоих направлениях при достижении заданной разности давлений в управляющих линиях X и Y, определяемой настройкой пружины
4		нет	есть	нет	есть	Пропускание потока рабочей жидкости при достижении заданной величины давления, определяемой настройкой пружины и давлением в линии Y

Чтобы уменьшить габариты пружины предохранительного клапана, в ряде случаев в качестве запорного элемента используется плунжер 3 с разными диаметрами  $D$  и  $d$  (рисунок 3.4). В таких дифференциальных клапанах небольшая активная площадь действия жидкости образуется за счет разности площадей плунжера 3; относительно слабая пружина 2 сжимается регулировочным устройством 1 и уменьшает или увеличивает осевое усилие. Каналы 4 и 5 предназначены для дренажа жидкости.

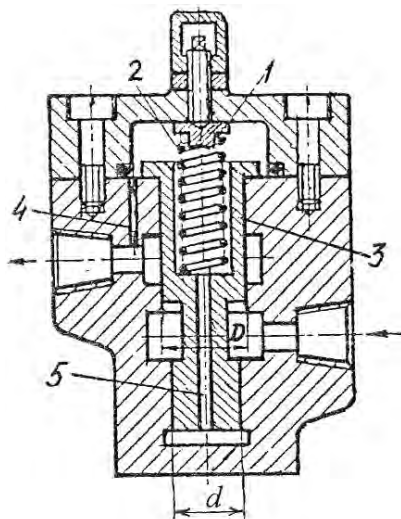


Рисунок 3.4 – Дифференциальный предохранительный клапан

При срабатывании предохранительного клапана прямого действия после открытия запорного элемента давление жидкости перед ним падает, и последний совершает обратное движение. Это может повторяться, что вызывает вибрацию и ударное действие сил на седло клапана, вызывающее его дополнительную выработку и потерю герметичности. Кроме того, при больших расходах и давлениях жидкости недопустимо увеличиваются размеры регулирующих пружин клапанов. Эти недостатки частично устраняются в предохранительных двухкаскадных клапанах непрямого действия.

## Контрольные вопросы

1. Назначение и применение предохранительных клапанов прямого действия.
2. Основные схемы и принцип действия предохранительных клапанов.
3. В чем преимущества дифференциального предохранительного клапана?
4. Недостатки предохранительных клапанов прямого действия.
5. Назначение демпфирующего дросселя в клапане.
6. Показать основные детали клапанов на схемах и макетных разрезных образцах.

## Лабораторная работа № 4

### ДВУХКАСКАДНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ КЛАПАНЫ НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

**Цель работы:** изучение схем, конструкций и работы предохранительных клапанов непрямого действия.

#### 1. Порядок выполнения работы

1. Изучение схем, конструкций и принципа действия предохранительных клапанов непрямого действия по данному учебному пособию.
2. Практическое ознакомление с имеющимися в лаборатории моделями и узлами клапанов непрямого действия.
3. Составление отчета о работе с приведением в нем краткого описания и схем изучаемых устройств.

#### 2. Предохранительные клапаны непрямого действия

**Предохранительные клапаны непрямого действия** предназначены для предохранения гидроприводов от давлений рабочей жидкости, превышающих установленные величины. Они применяются во многих мобильных и технологических машинах. Двухкаскадные предохранительные клапаны относятся к устройствам эпизодического действия, то есть при нормальных условиях работы гидропривода они закрыты и открываются лишь при давлении жидкости в гидросистеме, превышающем установленные величины. Эти клапаны позволяют значительно уменьшить недостатки предохранительных клапанов прямого действия, описанных в лабораторной работе № 3.

Такие гидроаппараты представляют собой совокупность двух клапанов: вспомогательного *2* в первом каскаде (рисунок 4.1, поз. 1) и основного *3* во втором каскаде. При допустимом давлении рабочей жидкости в напорной гидролинии *4* оба клапана закрыты. Если давление поднимется выше допустимого, вначале открывается вспомогательный клапан *2* первого каскада и пропускает жидкость на слив. При дальнейшем нарастании давления и расхода в напорной



магистрали на специальном дросселе 7 возрастает разность давлений, а также до и после основного клапана второго каскада (в верхней полости 5 и в нижних полостях 6 и 7), поэтому запорное устройство (золотник) 3 этого клапана открывается. Из-за подъема золотника происходит слив жидкости через его рабочую щель 8, которая имеет больший размер, чем во вспомогательном клапане. Таким образом, рабочее сечение основного клапана изменяется в результате воздействия потока рабочей жидкости на запорно-регулирующий элемент. Это позволяет использовать пружину меньших размеров (меньшей жесткости) для второго каскада, что уменьшает ее габариты и габариты всего агрегата, улучшая рабочие характеристики предохранительного клапана (снижается возможность возникновения колебательного процесса). Наиболее интенсивно это происходит при повышенных давлениях и расходах жидкости.

Из большого числа различных схем предохранительных клапанов непрямого действия можно выделить следующие:

**1. Клапаны с постоянным сечением дросселя 7 без обратных связей (ОС) по положению (рисунок 4.1, поз. 1–6) с различными воздействиями:**

1) воздействие на уравновешенный поршень 9 с односторонним штоком 3 и подводом жидкости в среднюю полость 10 (рисунок 4.1, поз. 1).

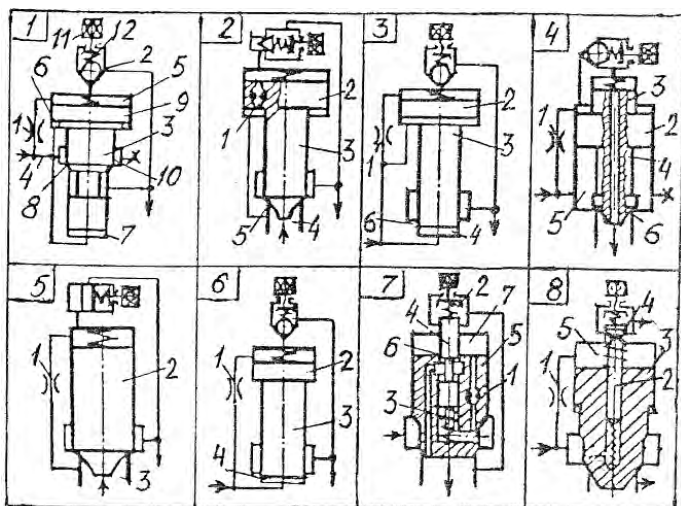


Рисунок 4.1 – Предохранительные клапаны непрямого действия

Вспомогательный клапан первого каскада выполнен с шариковым запорным элементом, а шток второго каскада образован в виде золотника 3, который изготавливается с фаской или без нее. Величина давления, при которой срабатывает клапан, устанавливается с помощью регулирующего винта 11, действующего через пружину 12 на шарик 2.

2) воздействие на уравновешенный поршень 2 с односторонним штоком 3 и подводом жидкости в штоковую торцовую полость 4 (рисунок 4.1, поз. 2 – с коническим запорным элементом 5; поз. 3 – с золотниковым запорным элементом 3);

3) воздействие на уравновешенный поршень 2 с двухсторонним штоком (верхним штоком 3 и нижним штоком 4) и подводом жидкости в среднюю штоковую полость 5 (рисунок 4.1, поз. 4);

В таких клапанах отсутствует золотниковое перекрытие. Запирание происходит по конической фаске 6, что создает меньший путь открытия запорного элемента и повышает чувствительность клапана. Технологичность их изготовления хуже, чем у вышеприведенных;

4) воздействие на уравновешенный поршень 2 без штока с подводом жидкости снизу в торцовую полость 3 (рисунок 4.1, поз. 5).

У такого клапана – хорошая технологичность изготовления. Существует большое количество компоновочных схем таких клапанов;

5) воздействие на неуравновешенный поршень 2 с односторонним штоком 3 и подводом жидкости в штоковую полость 4 снизу (рисунок 4.1, поз. 6).

В таких клапанах иногда устанавливают в первом каскаде два клапана, включенных параллельно. Имеются конструкции со специальными шаровыми клапанами и др.:

6) воздействие на неуравновешенный поршень с подводом жидкости в среднюю штоковую полость (описаны в работе).

**2. Клапаны с постоянным сечением дросселя 1 и отрицательной обратной связью (ОС) по положению (рисунок 4.1, поз. 7).**

Подпружиненный пружинами 2 и 3 клапан первого каскада в виде золотника 4 вставлен в клапан 5 второго каскада и имеет в последнем рабочую щель 6, которая при подъеме клапана первого каскада (золотника 4) открывается, и жидкость из полости 7 поступает на слив. При движении клапана 5 вверх также сливается жидкость через коническую щель в нем; рабочая щель 6 прикрывается, то есть происходит отрицательная ОС по положению клапана 5.

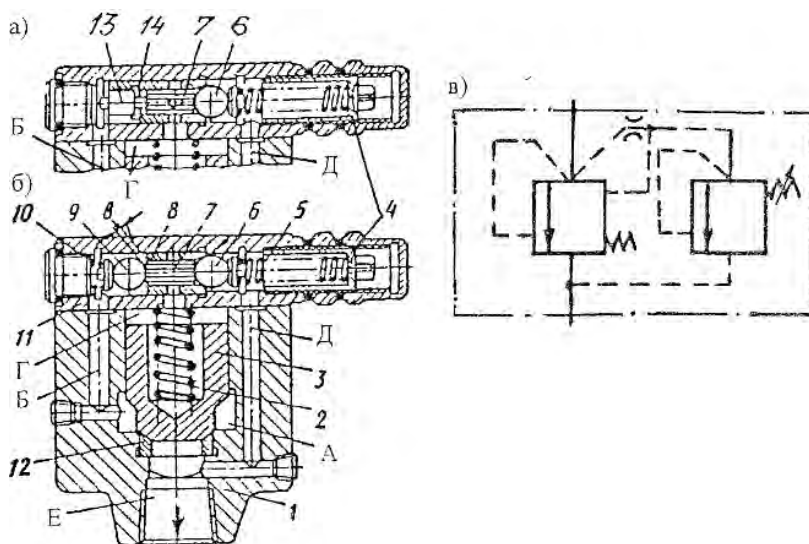
Наличие такой ОС между каскадами обеспечивает требуемое торможение клапана 5 в конце открытия, что снижает возможность заброса и колебания последнего.

### 3. Клапаны с постоянным дросселем 1 и индикаторным стержнем 2 (рисунок 4.1, поз. 8).

При перемещении вверх клапана 3 второго каскада передвигается также и стержень 2, воздействуя на клапан 4 первого каскада. Последний открывается дополнительно на большую величину; давление в полости 5 падает, что значительно увеличивает перепад на дросселе 1 и улучшает чувствительность предохранительного клапана.

### 4. Клапаны с автоматическим дросселем (рисунок 4.2).

Отличаются от приведенных выше только тем, что содержат регулируемый дроссель, рабочая щель которого устанавливается автоматически в процессе работы клапана. Заметим, что в описанных ранее схемах использовались постоянные дроссели.



*a* – МСБ-10; *б* – МСБ-20;

*в* – условное обозначение предохранительных клапанов непрямого действия

Рисунок 4.2 – Клапаны с автоматическим дросселем

На рисунке 4.2 изображена конструкция клапанов МСБ-10 и МСБ-20. На рисунке 4.2, *а* показан автоматический дроссель, сделанный на базе золотника 13 с рабочей щелью 14, а на рисунке 4.2, *б* – на базе шарикового клапана 9 с рабочей щелью 8 и зазором, в который проходит жидкость. Предохранительный клапан МСБ-20 состоит из корпуса 1; пружины 2; клапана 3 второго каскада; регулирующего устройства 4; клапана 5 первого каскада; толкателя 7, контактирующего справа с шариком 6, а слева – с шариком 9; пружины 10, поднимающей через тарелку шарик 9 к толкателю 7; крышки 11; сменного седла 12 клапана 3. В клапане МСБ-10 толкатель 7 заканчивается слева золотником 13. Рабочая жидкость из напорной магистрали подводится в полость *А*, а также через канал *Б*, зазор 8 (или в клапане МСБ-10 – зазор 14), проточки в толкателе 7 – в полость *Г* и *К* запорному элементу (шарику) 6. Слив ее при работающем канале происходит через отверстие *Е*.

Если давление жидкости в полости *А* не превышает допустимую величину, клапан 5 первого каскада и клапан 3 второго каскада закрыты. Если давление в полости *А* превысит допустимую величину, будет действовать большая сила давления и на клапан 5 первого каскада; последний откроется, и жидкость начнет сливаться через канал *Д* в магистраль *Е*. При перемещении клапана 6 вправо за ним будут следовать толкатель 7 и запорный элемент 9 (или 13) регулируемого дросселя. Рабочая щель 8 (или 14) будет уменьшаться. Следовательно, меньше жидкости будет поступать через регулируемый дроссель в полость *Г*. При этом из последней интенсивнее будет вытекать жидкость через клапан 5 в канал *Д* (на слив), что вызовет резкое повышение перепада давлений в полостях *А* и *Г*. Клапан 3 быстро поднимается и позволяет осуществить интенсивный слив жидкости из полости *А* в магистраль *Е*.

Таким образом, автоматический дроссель позволяет повысить чувствительность и быстродействие предохранительного клапана.

Условное обозначение двухкаскадных предохранительных клапанов непрямого действия по ГОСТ 2.781-96 приведено на рисунке 4.2, *в*.

На рисунке 4.3 показана конструкция предохранительного клапана непрямого действия, состоящего из корпуса 2 основного клапана, гильзы 3, золотника 4, пружины 5, крышек 1 и 6, корпуса 7 вспомогательного клапана, седла 8, конического клапана 9, пружины 10, винта 11 и уплотнений.

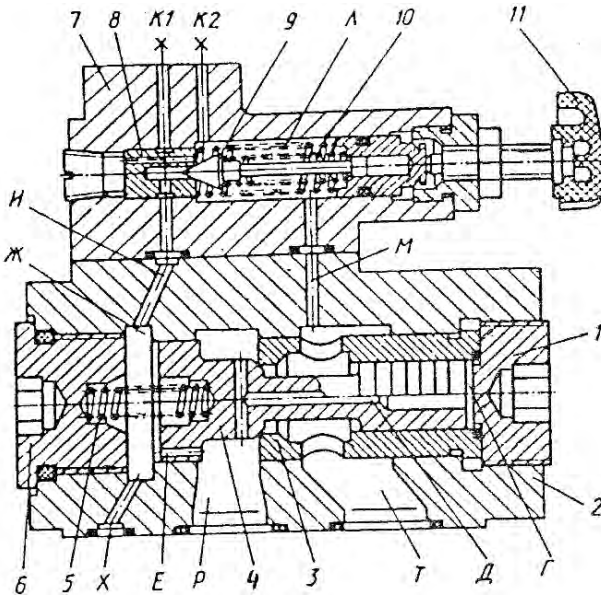


Рисунок 4.3 – Предохранительный клапан непрямого действия

Золотник 4 поджат пружиной 5 к седлу гильзы 3. Корпус 2 имеет полости: напорную *P*, сливную *T*, торцевые *Г* и *Ж*. Для уменьшения силы пружины 5 полость *Ж* соединена через малое отверстие (дроссель) *E* с полостью *P*. Полость *Г* также соединена с полостью *P* при помощи канала *Д*. Давление настройки клапана 9 регулируется винтом 11, сжимающим пружину 10. Напорная полость седла 8 соединена с полостью *Ж* основного клапана каналом *И*. Полость *Л* соединена со сливной полостью *T* основного клапана каналом *М*.

Если давление в полости *P* не превышает давления настройки, вспомогательный и основной клапаны закрыты.

При увеличении давления в полости *P* сверх давления настройки вспомогательный клапан 9 открывается, и рабочая жидкость из полости *Ж* поступает через щель клапана в полость *Л*, а из нее по каналу *М* – в сливную полость *T*. Из-за потери давления в отверстии (дросселе) *E* давление в полости *Ж* уменьшается, и золотник 4 под действием силы давления жидкости в полостях *Г* и *Ж* перемещается влево, сжимая пружину 5 и открывая проход рабочей жидкости через основной клапан из полости *P* в полость *T*.

Клапан имеет каналы  $K1$ ,  $K2$ ,  $X$ , которые при необходимости могут быть соединены с внешними распределителями для дистанционной разгрузки, что показано на рисунке 4.4.

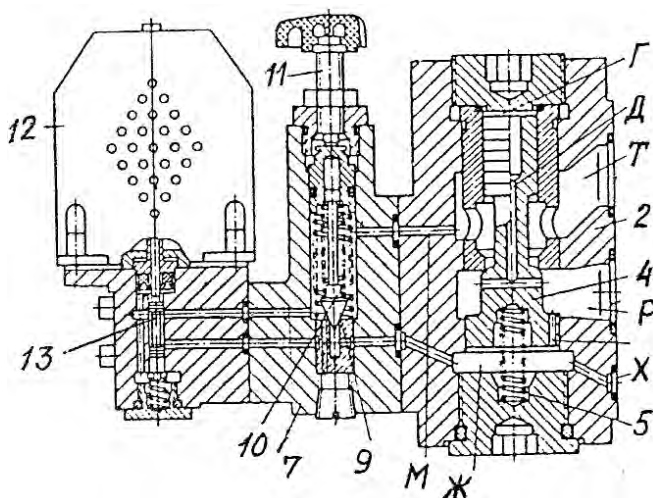


Рисунок 4.4 – Предохранительный клапан с электрогидравлическим распределителем

Клапан может быть использован и для разгрузки системы от давления, если соединить отверстие  $X$  через кран или распределитель со сливом. Давление в полости  $X$  упадет, золотник  $4$  переместится, и полость  $P$  соединится со сливной полостью  $T$ . Это происходит при открытом канале  $X$ ; при закрытом предохранительный клапан будет работать, как описано выше.

Если необходима дистанционная разгрузка предохранительного клапана, управление разгрузкой осуществляется с помощью электромагнита  $12$  и золотникового распределителя  $13$ , управляемого последним.

На рисунке 4.5 приведена конструкция предохранительного клапана МН5781-65, состоящего из корпуса  $1$  основного клапана; седла  $2$ ; уравновешенного поршня с односторонним штоком  $3$ , имеющим коническое запорное устройство; пружины  $4$ ; корпуса  $5$  вспомогательного конического клапана  $6$  с пружиной  $7$ ; регулировочного винта  $8$ ; дресселя  $9$ .

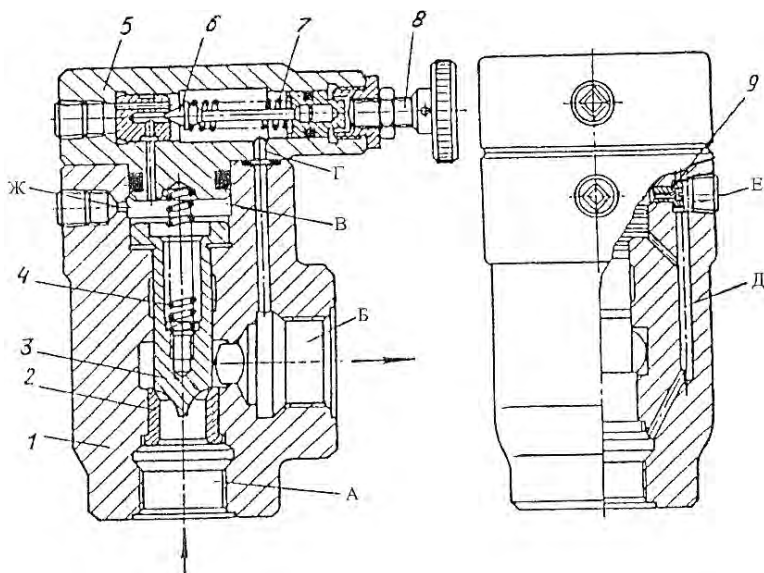


Рисунок 4.5 – Клапан МН5781-65

Жидкость из напорной магистрали *A* подается через канал *Д*, полость *E* и дроссель *9* в полость *B*. Если давление в полости *A* выше допустимого значения, вначале откроется клапан *6*, и жидкость будет сливаться через канал *Г* в магистраль *Б* (в бак). При повышении давления и расхода жидкости на дросселе *9* увеличится перепад давления между полостями *A* и *B*. Поэтому открывается основной клапан *3*, и жидкость перетекает из полости *A* в сливную магистраль *Б*.

### Контрольные вопросы

1. Назначение и применение предохранительных клапанов прямого действия.
2. Основные схемы и принцип действия предохранительных клапанов непрямого действия.
3. В чем преимущества таких клапанов?
4. Назначение постоянного дросселя в клапане.
5. Назначение переменного дросселя в клапане.
6. Показать основные детали клапанов на схемах и макетных разрезных образцах.

## Лабораторная работа № 5

### ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

**Цель работы:** изучение схем, конструкций и принципа действия гидрораспределителей.

#### 1. Порядок выполнения работы

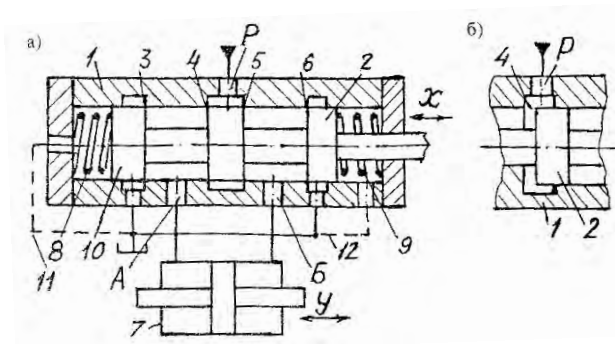
1. Изучение назначения схем, конструкций и принципа действия гидрораспределителей по данному учебному пособию.

2. Практическое ознакомление с имеющимися в лаборатории моделями и деталями гидрораспределителей.

3. Составление отчета о работе с приведением в нем краткого описания и схем основных типов гидрораспределителей, изучаемых в данной работе.

#### 2. Назначение, схемы, конструкции и принцип действия гидрораспределителей

**Гидравлический распределитель** – гидроаппарат, предназначенный для изменения направления (распределения) потоков жидкости, пуска и остановки этих потоков, а также для регулирования давления и расхода жидкости. Основными конструктивными элементами гидрораспределителя являются корпус 1 и запорно-регулирующий элемент 2 (например, золотник 2, рисунок 5.1).



*a* – в нейтральном положении золотника; *б* – при сдвинутом вправо золотнике

Рисунок 5.1 – Конструктивная схема гидрораспределителя



В зависимости от их функционального назначения распределители бывают:

1. *Направляющие распределители*, используемые для изменения направления, пуска и остановки потока рабочей жидкости в зависимости от наличия определенного внешнего управляющего сигнала  $X$ . Запорно-регулирующий элемент (золотник) 2 при наличии занимает всегда крайние (левое или правое) рабочие положения (рисунок 5.1, *а*), называемые рабочими позициями. При прохождении жидкости через рабочие проходные сечения (рабочие щели) 3, 4, 5, 6 распределителя параметры потока жидкости (давление и расход) не изменяются. На рисунке 5.1, *б* показана рабочая щель 4 при сдвинутом вправо золотнике 2.

2. *Дросселирующие распределители*, используемые не только для изменения направления потока рабочей жидкости, но и регулирования расхода и давления рабочей жидкости в соответствии с изменением внешнего воздействия  $X$ . Запорно-регулирующий элемент (золотник) 2 такого гидрораспределителя может занимать бесконечное множество промежуточных рабочих положений, образуя определенные величины дросселирующих щелей 3, 4, 5, 6. Характеристика сигналов управления – непрерывная (аналоговая). Чем больше внешний управляющий сигнал  $X$ , тем больше рабочее проходное сечение 4 (рисунок 5.1, *б*) и больше расход рабочей жидкости. Таким образом, эти распределители имеют следящее действие, т.е. расход рабочей жидкости изменяется с учетом величины поступившего сигнала. Если обеспечить пропорциональное смещение выходного звена  $Y$  в зависимости от входного сигнала  $X$ , то дросселирующий распределитель может использоваться в качестве гидроусилителя.

Схема подключения распределителя к напорной линии и к гидродвигателю 7 (каналами  $A$  и  $B$ ) на рисунке 5.1, *а*. При перемещении золотника 2 вправо жидкость из напорной линии поступает в полость  $P$  и через рабочее проходное сечение 4, полость  $A$  – в левую камеру гидроцилиндра 7, а из правой камеры последнего жидкость вытекает через полость  $B$ , рабочее сечение 6 в гидробак. Поршень гидроцилиндра 7 перемещается вправо. Аналогично происходит перемещение поршня влево при сдвиге золотника 2 влево. При отсутствии управляющего сигнала  $X$  пружины 8 и 9 устанавливают золотник 2 в нейтральное положение, показанное на рис. 5.1, *а*. Поток жидкости через гидрораспределитель прекращается.

Если принимается, что зазоров между всеми тремя поясками 10 золотника 2 и корпусом 1 нет, а следовательно, отсутствуют утечки жидкости через них, такой распределитель называется идеальным. В действительности же эти зазоры неизбежны, поэтому всегда будут иметься утечки жидкости, например, из полостей *A* и *B* в полости, в которых установлены пружины 8 и 9. Следовательно, необходимо образовать дренажные линии 11 и 12, чтобы отвести эти утечки в гидробак и не нарушить работоспособность распределителя. Если учитываются указанные выше утечки, в этом случае гидрораспределитель реальный.

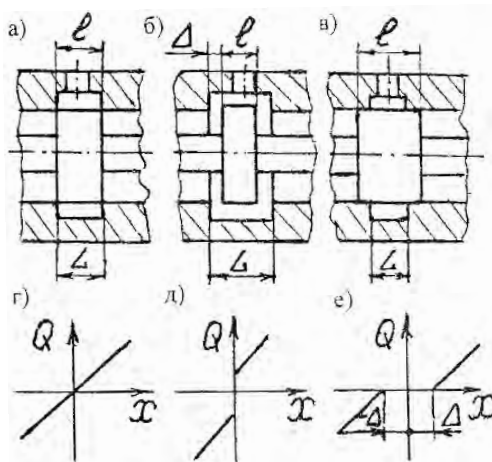
В целом распределитель объединяет в себе несколько дросселирующих устройств (дросселей). В данном случае (рисунок 5.1, *a*) он содержит четыре дросселя, дросселирующие отверстия которых обозначены позициями 3, 4, 5, 6.

Конструктивно схемы перекрытия рабочих проходных сечений (щелей, окон) могут быть разными. В зависимости от ширины цилиндрического пояска 10 золотника и ширины цилиндрической расточки 12 корпуса 1 (рисунок 5.1, *a*) распределители бывают:

- 1) с нулевым перекрытием ( $l = L$ , рисунок 5.2, *a*);
- 2) с отрицательным перекрытием ( $l < L$ , рисунок 5.2, *б*);
- 3) с положительным перекрытием ( $l > L$ , рисунок 5.2, *в*).

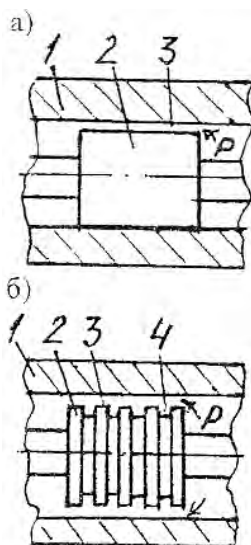
Расходные характеристики этих распределителей показаны на рисунке 5.2, *г, д, е* соответственно.

В процессе работы гидрораспределителя золотник 2 может сдвинуться и прижаться, например, к нижней части корпуса 1 (рисунок 5.3, *a*). Под действием давления жидкости  $p$  в зазоре 3 возникнут при осевом перемещении золотника 2 большие силы сопротивления из-за трения золотника о корпус и межмолекулярных сил сцепления (особенно при длительном нахождении золотника в покое). Для снижения этих сил нередко на пояске золотника 2 нарезают кольцевые канавки 4 квадратного сечения (рисунок 5.3, *б*). Жидкость протекает под давлением  $p$  через зазор 3 между корпусом 1 и пояском золотника 2, попадает в кольцевые канавки 4. Поскольку гидравлическое сопротивление последних незначительное, давление в любом сечении канавки (по окружности) становится одинаковым, то есть со всех сторон снаружи пояска действует одинаковое давление. Неуравновешенность золотника 2 исчезает, и он становится в «плавающее» положение, что значительно снижает вредные силы, описанные выше.



*a* – нулевое; *б* – отрицательное; *в* – положительное;  
*г, д, е* – расходные характеристики

Рисунок 5.2 – Перекрытия переходных сечений



*a* – без канавок; *б* – с кольцевыми канавками

Рисунок 5.3 – Конструктивная схема золотника

На практике существует большое количество различных конструкций гидрораспределителей. Их можно классифицировать следующим образом:

1. **По числу основных линий (рабочих щелей):**

1) двухлинейные (однощелевые, содержащие одну щель) (рисунок 5.4, *а*);

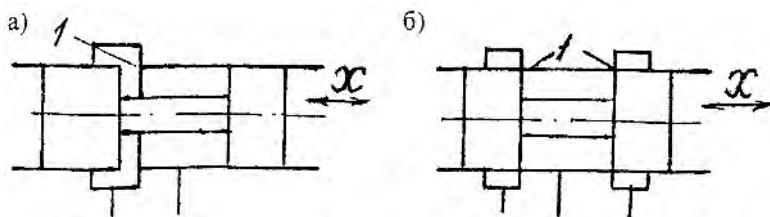
2) трехлинейные (двухщелевые) (рисунок 5.4, *б*);

3) четырехлинейные, например, гидрораспределитель на рисунке 5.1, *а*, содержащий четыре щели 3, 4, 5, 6;

4) пятилинейные;

5) специальные.

Различие между четырехлинейными и пятилинейными распределителями состоит в том, что для первого из них крайние кольцевые канавки корпуса соединены между собой внутренним каналом и подключены к одной общей линии, а для второго – связаны с двумя независимыми линиями.



*а* – двухлинейного (однощелевого); *б* – трехлинейного (двухщелевого)

Рисунок 5.4 – Схема гидрораспределителей

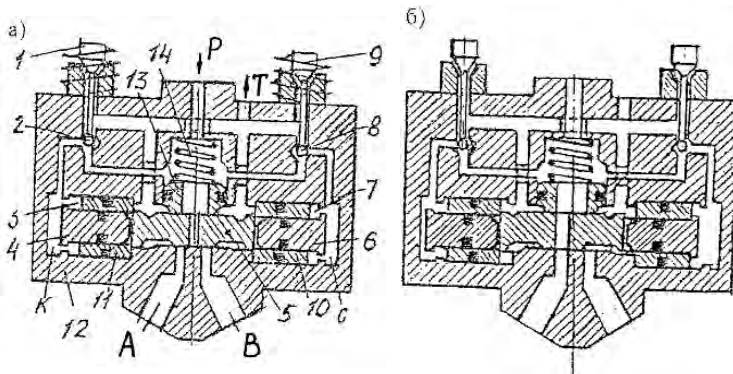
2. **По конструкции распределительных устройств** (особенно по конструкции запорно-регулирующих элементов этих устройств):

1) золотниковые с цилиндрическим (рисунок 5.1) и плоским (рисунок 5.5) золотниками, обозначенными на этих рисунках соответственно позициями 2 и 5;

2) клапанные (рисунок 5.6), содержащие клапан 2;

3) крановые (рисунок 5.7).

Принцип действия этих распределителей описан ниже.



а – нейтральное положение золотника; б – при сдвиге золотника влево

Рисунок 5.5 – Гидрораспределитель с плоским золотником

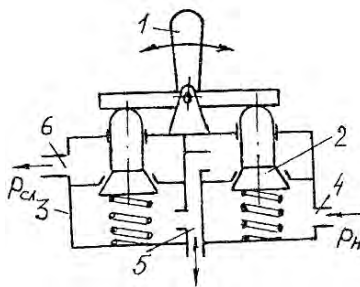


Рисунок 5.6 – Схема клапанного гидрораспределителя

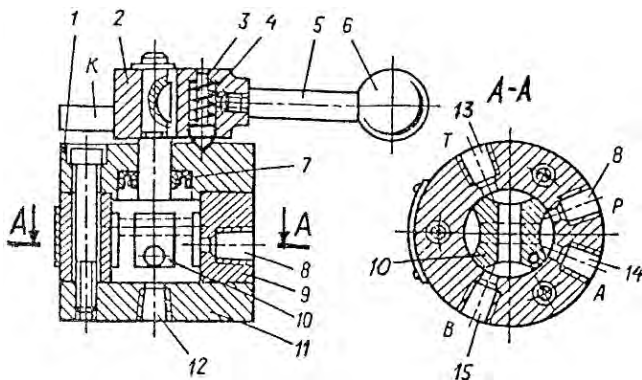


Рисунок 5.7 – Конструктивная схема кранового распределителя

### 3. По типу управления:

- 1) с ручным управлением от рукоятки (рисунок 5.8) или поворотной кнопки;
- 2) с ножным управлением;
- 3) с механическим управлением от кулачка;
- 4) с электрическим управлением от толкающего электромагнита постоянного или переменного тока электромагнитами 5 и 6 с ручным дублированием (рисунок 5.9) и без ручного дублирования;
- 5) с электрогидравлическим управлением (двухступенчатым) (рисунок 5.10, где первая ступень в виде вспомогательного распределителя управляется электромагнитами 1 и 2);
- 6) с гидравлическим управлением от вспомогательного распределителя (рисунок 5.11);
- 7) с пневматическим управлением (рисунок 5.12);
- 8) с пневмогидравлическим управлением.

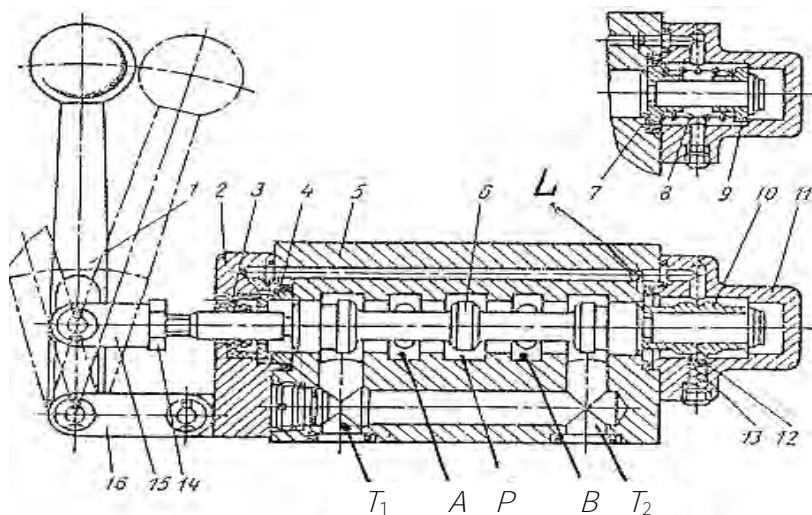


Рисунок 5.8 – Конструкция распределителя ПГ74-2

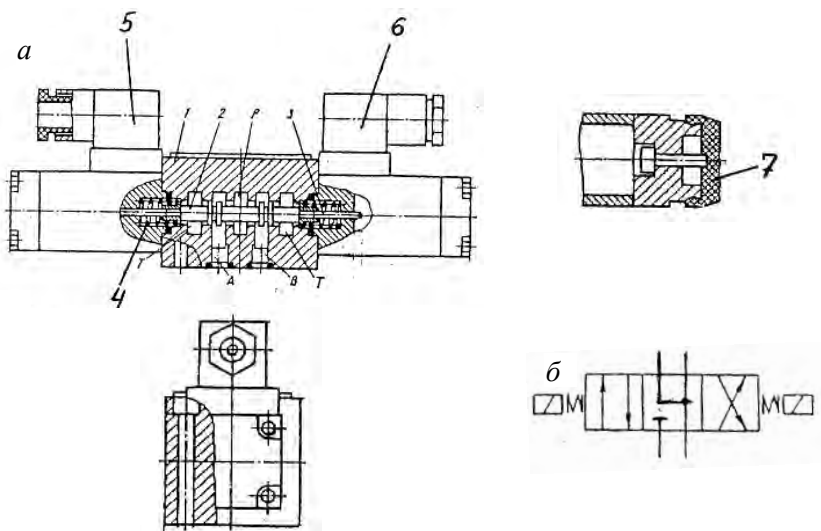


Рисунок 5.9 – Гидрораспределитель с электрическим управлением

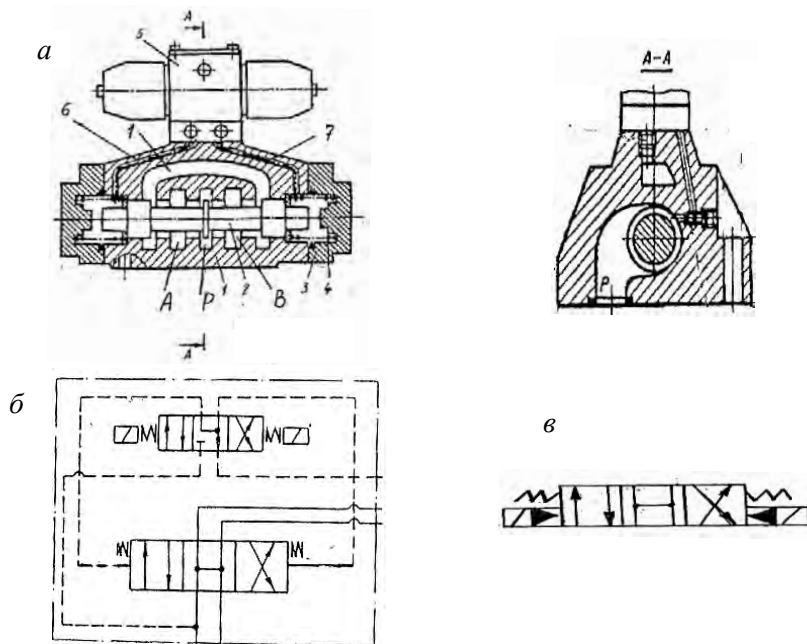


Рисунок 5.10 – Гидрораспределитель с электрогидравлическим управлением

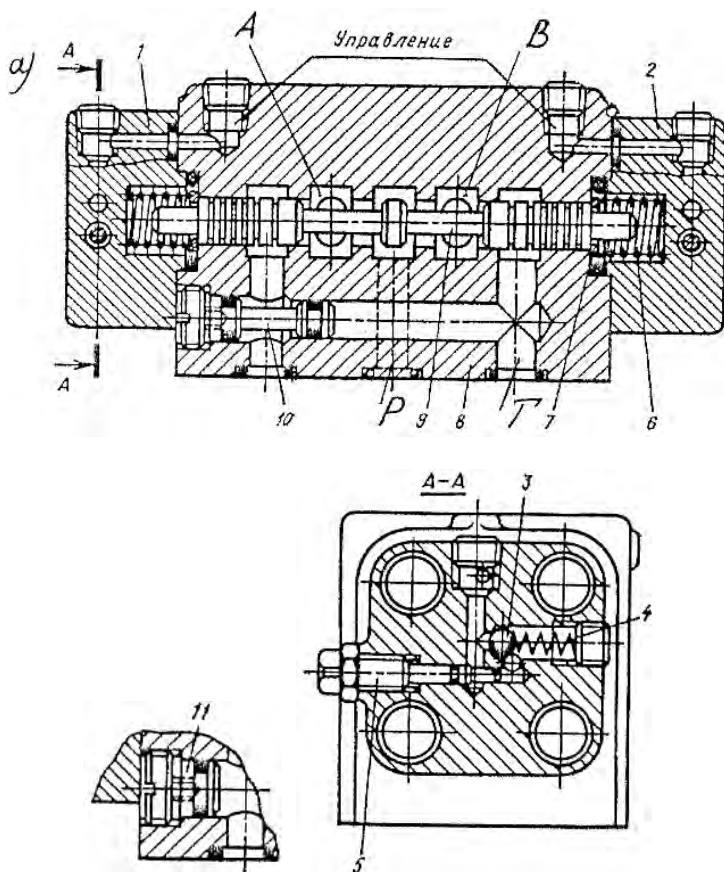


Рисунок 5.11 – Гидрораспределитель с гидравлическим управлением

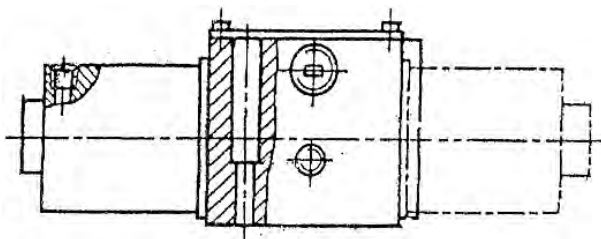


Рисунок 5.12 – Гидрораспределитель с пневматическим управлением



#### 4. По числу фиксированных позиций:

- 1) двухпозиционные (рисунок 5.12);
- 2) трехпозиционные (рисунок 5.1, 5.8, 5.11);
- 3) многопозиционные.

#### 5. По способу управления:

- 1) с фиксацией золотника во всех позициях;
- 2) с односторонним управлением и возвратом золотника в исходную позицию после снятия управляющего воздействия;
- 3) с двухсторонним управлением (рисунок 5.10, 5.11) и с пружинным возвратом золотника трехпозиционных распределителей в среднюю позицию (для распределителей с управлением от кулачка – в крайнюю позицию).

#### 6. По способу присоединения:

- 1) резьбовые (рисунок 5.7);
- 2) стыковые (рисунок 5.8–5.12).

Если в распределителе нет возвратных пружин и при передвижении золотника в какую-то позицию последний сохраняет свое положение до подачи очередной команды на возврат, такие распределители называют триггерами (обладающими памятью).

В конкретных случаях применения распределителей требуются различные варианты соединения линий при остановке гидродвигателя или в момент переключения, когда золотник проходит через промежуточные положения. Указанные технические требования могут быть удовлетворены за счет применения распределителей различных исполнений по гидросхеме, отличающихся главным образом, осевыми размерами золотника или геометрией его рабочих кромок.

В соответствии с международными требованиями присоединения каналов и трубопроводов аппаратов обозначаются следующим образом:  $P$  – напорная линия (подвод);  $A, B$  – отверстия присоединения аппарата к двигателю;  $T$  – сливная линия (слив);  $P_x, P_y$  – подвод управления;  $T_x, T_y$  – слив управления;  $L$  – дренажное отверстие;  $M$  – отверстие для манометра.

При разработке принципиальных гидравлических и пневматических схем приняты условные графические обозначения, являющиеся едиными для любых конструкций распределителей (золотниковых, клапанных, крановых). Общие правила схематичного изображения распределителей регламентированы ГОСТ 2781-96, согласно которому в обозначении указываются следующие элементы: позиции

рабочего органа, внешние линии связи, подведенные к распределителю, каналы и элементы управления. Кроме этого ГОСТ 2781-96 устанавливает сокращенное цифровое обозначение распределителя в виде дроби, в числителе которой указывают число линий (ходов), а в знаменателе число характерных позиций, например, распределитель четырехходовой трехпозиционный обозначается «4/3». Число позиций на схематическом изображении указывается соответствующим числом квадратов. Проходы в распределителе изображают прямыми линиями со стрелками, показывающими направление потоков рабочей жидкости в каждой позиции, а места соединений проходов выделяют точками. Перекрытый проход изображают тупиковой линией с поперечным отрезком. Внешние линии связи всегда подводят к исходной позиции. При этом трубопроводы основных гидравлических коммуникаций изображаются сплошными линиями, а трубопроводы управления – штриховыми.

Чтобы представить принцип работы распределителя в другой рабочей позиции, необходимо мысленно передвинуть соответствующий квадрат на место исходной позиции, оставляя линии связи в прежнем положении.

На рисунке 5.5 приведена конструктивная схема четырехлинейного трехпозиционного гидрораспределителя с плоским золотником 5, имеющего гидравлическое управление с помощью электромагнитов 1, 9 и шариковых клапанов 2, 8. При выключении (обесточивании) электромагнитов 1, 9 клапаны прижимаются к верхним седлам, и жидкость под давлением проходит через них, оказывая одинаковое действие на внутренние 4, 6 и наружные 10, 11 кольцевые поршни. Последние прижаты к упорам на внутренних концах цилиндров, поэтому плоский золотник 6 центрируется (устанавливается в нейтральное положение), как показано на рисунке 5.5, а. При включении электромагнита 1 клапан 2 перемещается в нижнее положение, отключая напорную линию от рабочих полостей 3 и К поршней 4, 11 и соединяет их через клапан 2 с каналом Т. При этом золотник 5 переместится в левое положение (рисунок 5.5, б), так как жидкость под давлением будет проходить через центральный канал Р и открытый клапан 8 в полости С и 7. Выходная полость В соединяется со сливом, а выходная полость А – с центральным каналом Р, к которому подключена напорная магистраль.

На рисунке 5.6 приведена схема клапанного гидрораспределителя, простого в изготовлении и обеспечивающего высокую герметичность. Затворы клапанов приводятся в действие ручными (например, рычагом *1*, как показано на рисунке 5.6), механическими или электрическими устройствами. В корпусе *3* имеется три отверстия для подвода и отвода рабочей жидкости. Отверстия *4*, *5* и *6* соединяются с насосом, гидроцилиндром (гидродвигателем) и баком.

На рисунке 5.7 показана конструкция кранового распределителя Г71-31, состоящего из корпуса *9*, поворотной втулки (крана) *10*, крышек *1* и *11*, манжеты *7*, рукоятки *5* с шаром *6*, фиксатора положений *3*, пружины *4*, ступицы *2*. Отверстие *8* соединяется с напорной линией *P*, *13* – со сливной линией *T*, отверстия *14* и *15* – с линиями *A* и *B* гидродвигателя, а отверстие *12* – с дренажной линией *L*. В ряде случаев переключение крана осуществляется с помощью кулачков, воздействующих на выступы *K*. При повороте крана *10* на  $45^\circ$  против часовой стрелки соединяются полости *P* и *B*, а также *A* и *T*.

На рисунке 5.8 показана конструкция направляющего золотникового распределителя типа ПГ 74-2 с ручным управлением. Распределитель имеет литой корпус *5*, центральное отверстие которого расточено, и маслоподводящие каналы обработаны механически. Центральное отверстие, служащее для размещения золотника *6*, имеет 5 кольцевых канавок *P*, *A*, *B*,  $T_1$  и  $T_2$ , соединяемых с соответствующими линиями, причем крайние канавки  $T_1$  и  $T_2$  могут объединяться между собой с помощью специального канала, выполненного в корпусе. Торцовые полости золотника также соединены каналом, сообщаемым с дренажной линией *L*, что исключает возможность самопроизвольного переключения золотника. В передней крышке *2* распределителя расположены шайба *4* ограничения хода и уплотнение *3*, а также выполнен прилив для закрепления серьги *16*; в задней крышке *11* расположен механизм фиксации (или пружинного возврата) золотника, состоящий из втулки *10*, шарика *12* и пружины *13*. Рукоятка *1* имеет шарнирную опору, исключающую возможность изгиба золотника при переключении. С помощью ушка *15* и контргайки *14* можно в определенных пределах регулировать положение рукоятки. Золотник относительно корпуса может занимать две или три позиции, в которых он фиксируется шариком *12*, взаимодействующим со скосами втулки *10*. Если необходим пружинный возврат золотника в среднюю или крайнюю левую позицию

(для двухпозиционных распределителей) после снятия усилия с рукоятки, взамен фиксирующего механизма устанавливаются пружина  $\delta$ , а также втулки  $\gamma$  и  $\varrho$ , расстояние между которыми равно величине перемещения золотника от средней позиции. Усилие на рукоятке для распределителей с условными проходами 10, 20 и 32 мм составляет соответственно 25, 40 и 60 Н.

Работает распределитель следующим образом.

При перемещении золотника  $\delta$  вправо, напорная линия  $P$  распределителя сообщается с полостью  $A$ , к которой подключен гидродвигатель, а полость  $B$  и соответственно вторая полость гидродвигателя сообщается с полостью  $T$  (со сливом в гидробак). При смещении золотника  $\delta$  влево распределитель работает аналогичным образом.

На рисунке 5.9, *а* показан трехпозиционный золотниковый гидрораспределитель типа В6 с электрическим управлением, состоящий из корпуса 1, золотника 2, толкателей 3, пружин 4, электромагнитов 5 и 6. Полости  $P$  и  $T$  соединяются соответственно с напорной и сливной гидролиниями, а  $A$  и  $B$  – с рабочими полостями гидроцилиндра. Принцип его действия аналогичен описанному выше распределителю, только переключение золотника осуществляется электромагнитами 5 и 6. После снятия управляющего усилия золотник распределителя за счет пружин 4 возвращается в исходное (нейтральное) положение. В гидроусилителях с электрическим управлением предусматривается кнопка 7 для ручного наладочного (или аварийного) переключения золотника. Условное обозначение рассмотренного распределителя показано на рисунке 5.9, *б*.

На рисунке 5.10, *а* показана конструкция гидрораспределителя типа Р с электрогидравлическим управлением. Распределители с электрогидравлическим управлением состоят из следующих деталей и узлов: корпуса 1, золотника 2, крышек 3, пружин 4 и вспомогательного распределителя с электрическим управлением 5, от которого через каналы управления 6 и 7 рабочая жидкость под давлением подводится к торцам основного золотника 2. Давление питания подводится к полости  $P$ , полость  $T$  соединяется со сливом, а полости  $A$  и  $B$  – с гидродвигателем. Принцип действия гидрораспределителя аналогичен описанному выше за исключением того, что здесь перемещения основного золотника 2 осуществляется усилием, создаваемым давлением рабочей жидкости, поступающей от вспомогательного распределителя 5, на площадь торца золотника.

На рисунке 5.10, *б* показано условное обозначение гидрораспределителя с электрогидравлическим управлением, а на рисунке 5.10, *в* – упрощенное условное обозначение. На рисунке 5.11, *а* приведена конструкция гидрораспределителя типа ПГ 72-3 с гидравлическим управлением. Гидрораспределитель состоит из корпуса 8, золотника 9, крышек 1 и 2, шайб 7, пружин 6 и 4, дросселей 5, шариков 3 и заглушек 11 (у четырехлинейных) или 10 (у пятилинейных аппаратов). Когда давления в торцовых полостях золотника равны, пружины 6 устанавливают золотник в среднее положение. При соединении одной из торцовых полостей с напорной линией управления и противоположной полости – со сливной, золотник 9 перемещается в крайнее положение. При этом рабочая жидкость из напорной линии управления поступает в торцовую полость через шариковый клапан, а из противоположной полости вытесняется в сливную линию управления через дроссель 5, позволяющий регулировать время переключения распределителя. Наличие дросселей и шариковых клапанов в обеих крышках 1 и 2 дает возможность отдельно регулировать время переключения в каждом направлении. На рисунке 5.12 приведена конструкция распределителя типа Р102 с пневматическим управлением. Гидрораспределители Р102 в отличие от распределителей типа В могут иметь пятилинейное исполнение, в котором крайние сливные канавки корпуса выведены на стыковую плоскость отдельно, что же касается конструкции и размеров, то указанные аппараты в значительной степени похожи друг на друга. Перемещение золотника из одной позиции в другую осуществляется с помощью давления сжатого воздуха, подводимого под торец золотника, от дополнительного пневмоклапана или пневмораспределителя.

### Контрольные вопросы

1. Назначение, конструкция, принцип действия изучаемых гидрораспределителей.
2. Условное обозначение по ГОСТ 2.781-96 основных гидрораспределителей.
3. Показать основные детали изучаемых в работе гидроаппаратов на имеющихся в лаборатории их макетных образцах.

## Лабораторная работа № 6

### ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАПАНА НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

#### Цель работы:

1. Ознакомление со схемой, устройством и принципом действия клапанов непрямого действия.
2. Изучение стенда и методики снятия на нем экспериментальных данных для построения статической характеристики клапана.
3. Построение этой характеристики.

#### 1. Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия испытуемого предохранительного клапана по данному методическому пособию.
2. Изучить экспериментальную установку.
3. Изучить методику проведения эксперимента.
4. Подготовить таблицу для заполнения по результатам эксперимента.
5. Провести эксперимент согласно методике, описанной в методическом пособии.
6. Заполнить таблицу.
7. Оформить отчет о лабораторной работе с приведением в нем цели работы, кратких теоретических сведений, схем клапана и экспериментальной установки, таблицы и полученной в результате эксперимента статической характеристики клапана  $\rho = f(Q)$ ,  $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$  (график приведен ниже).

#### 2. Краткие теоретические сведения

**Типовая статическая характеристика предохранительных (переливных) клапанов непрямого действия** – это зависимость давления настройки  $\rho$  от расхода рабочей жидкости  $Q$ , проходящей через клапан. На такой характеристике обычно показывают от  $Q_{\min}$  до  $Q_{\text{ном}}$  (характеристика показана ниже).

Схемы и конструкции предохранительных клапанов прямого и непрямого действия описаны в лабораторных работах № 3, 4 и изучаются при выполнении последних.

Следует только отметить, что при больших давлениях и расходах в однокаскадных клапанах прямого действия, где рабочая жидкость действует непосредственно на запорно-регулирующий элемент и сила давления жидкости уравнивается только усилием пружины, возникают колебания запорно-регулирующего элемента, вызывающие пульсации давления в гидросистеме и преждевременный износ элементов клапанов (см. лаб. раб. № 3). Меньшую склонность к таким явлениям имеют двухкаскадные предохранительные клапаны непрямого действия (см. лаб. раб. № 4), содержащие основной и вспомогательные клапаны, при превышении установленной величины давления в которых вначале срабатывает клапан первого каскада (вспомогательный), а затем при дальнейшем повышении давления в напорной гидролинии и расхода жидкости создается разность давлений на дросселе и запорно-регулирующем элементе клапана второго (основного) каскада. Такой процесс работы позволяет уменьшить недостатки клапанов прямого действия и уменьшить габариты клапана.

В данной лабораторной работе будет экспериментально исследоваться клапан, выполненный по ГОСТ 21148-75, конструкция которого приведена на рисунке 4.4 в лабораторной работе № 4. Типовое обозначение: 10-100-2-11 (ГОСТ 21148-75). Цифры обозначают: 10 – диаметр условного прохода, мм; 100 – рабочее давление (до  $100 \text{ кгс/см}^2 = 10 \text{ МПа}$ ); 2 – могут использоваться с установкой дополнительного электромагнита на напряжение 220 В переменного тока и 50 Гц; 1 (первая единица) – исполнение клапана без электромагнита; 1 (вторая единица) – клапан изготовлен с резьбовым присоединением и с метрической резьбой.

Чтобы подробнее изучить этот клапан, в данной лабораторной работе приводится его конструктивная схема (рисунок 6.1), включающая в себя: крышки 1 и 6, закрывающие торцовые полости Ж и Г запорно-регулирующего элемента 4 второго (основного) каскада; 2 – корпус второго каскада; 3 – гильзу, в которой образовано седло клапана второго каскада; 5 – пружину; 7 – корпус первого каскада; 8 – седло клапана первого каскада; 9 – запорно-регулирующий элемент первого каскада; 10 и 11 – пружины и винт для установки величины рабочего давления.

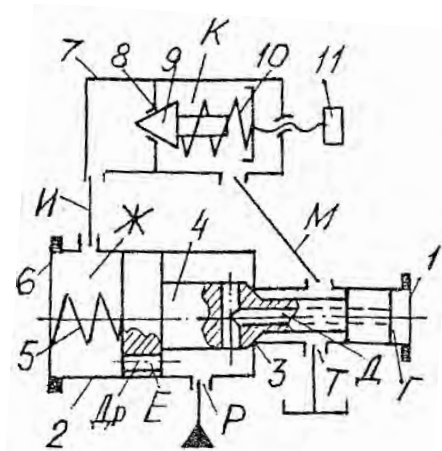


Рисунок 6.1 – Схема предохранительного клапана

С напорной линией клапан сообщается через полость  $P$ , со сливной – через полость  $T$ . Полость  $K$  вспомогательного клапана сообщается со сливной полостью  $T$  через канал  $M$ , а полость  $P$  – с полостями  $Ж$  и  $Г$  соответственно через постоянный дроссель  $E$  и каналы  $Д$ . Если давление жидкости не превышает установленное значение, клапаны первого и второго каскада закрыты. При возрастании давления жидкости выше установленного уровня открывается клапан  $9$  (перемещается вправо), и часть жидкости стекает в бак через дроссель  $E$ , полость  $Ж$ , канал  $И$ , зазор между клапаном  $9$  и его седлом, канал  $M$  и полость  $T$ . При дальнейшем повышении давления и расхода в напорной линии (полости  $P$ ) создается перепад давлений на дросселе  $E$ , а следовательно, запорный элемент  $4$  основного (второго) каскада перемещается влево, и жидкость вытекает из полости  $P$  через рабочую щель, образованную между элементом  $4$  и его седлом, и полость  $T$  в бак. Условное обозначение такого клапана по ГОСТ 2.781-96 приведено в лабораторной работе № 4. В результате проведения данной лабораторной работы строится статическая расходно-перепадная характеристика  $p = f(Q)$  клапана, один из видов которой показан на рисунке 6.2.



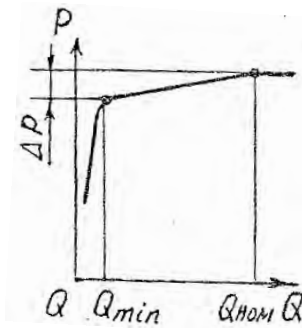


Рисунок 6.2 – Расходно-перепадная характеристика клапана

### 3. Описание установки и методики проведения эксперимента

Испытания клапана проводятся на установке, схема которой приведена на рисунке 6.3.

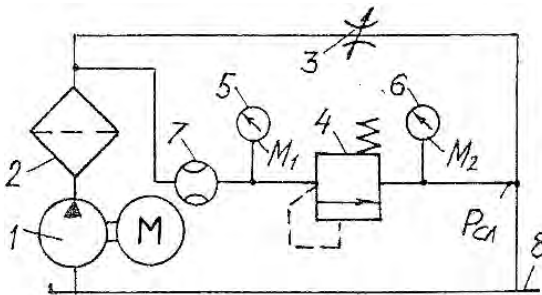


Рисунок 6.3 – Схема стенда для испытаний предохранительного клапана

Установка состоит: из насоса 1, приводимого в действие с помощью электродвигателя  $M$ ; фильтра 2; регулируемого дросселя 3; предохранительного клапана 4 непрямого действия (испытываемого клапана); манометров 5 и 6 (если не учитывается гидравлическое сопротивление сливной гидролинии, то  $p_{сл} = 0$ , и манометр 6 не устанавливается); датчика 7 расхода жидкости; бака 8; соединитель-

ных трубопроводов. Экспериментальные показатели снимаются по следующей методике:

1. Включить установку в работу.
2. Полностью закрыть регулируемый дроссель 3 (см. рисунок 6.3).
3. Установить с помощью регулировочного винта 11 клапана 4 рабочее давление 3 МПа (30 кгс/см<sup>2</sup>), осуществляя контроль за этим давлением с помощью манометра 5.
4. Полностью открыть дроссель 3.
5. Перекрывать проходное сечение дросселя 3 от полного открытия до закрытия таким образом, чтобы получилось не менее 5–6 позиций (особенно при замерах в области от  $Q = 0$  до  $Q = Q_{\min}$ ).
6. Заполнить таблицу 6.1 по показаниям манометров и частотомера при каждом положении дросселя.

Следует отметить, что можно проводить эксперимент и в обратном порядке: после закрытия проходного сечения дросселя 3 и настройки рабочего давления с помощью клапана 4 поэтапно открывать проходное сечение дросселя и записывать показания манометров и расходомера в таблицу 6.1.

По показаниям манометров в таблице 6.1 записываются давления на входе  $p_1$  и выходе  $p_2$  клапана (если  $M_2$  не установлен, то  $p_2 = 0$ ) в МПа.

Таблица 6.1

№ п/п	Показания приборов			Давление		Расход
	Манометры		Частотомер	$p_1$ , МПа	$p_2$ , МПа	$Q$ , м <sup>3</sup> /с
	$M_1$	$M_2$	$f$			

Расход жидкости рассчитывается на основе полученных частот  $f$ , регистрируемых частотомером, по формуле

$$Q = a + bf$$

где  $a, b$  – постоянные тарировочные коэффициенты турбинного датчика расхода, которые берутся по паспорту для конкретного датчика расхода, установленного на стенде:

$$a = 0; b = 0,0008 \text{ л/имп.} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{имп.}$$

После заполнения таблицы 6.1 строится статическая расходно-перепадная характеристика клапана  $p = f(Q)$ .

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое статическая расходно-перепадная характеристика и с какой целью ее строят?
2. Принцип действия испытуемого предохранительного клапана.
3. Устройство экспериментальной установки.
4. Методика получения характеристики клапана.
5. Как настраивается в установке максимальное рабочее давление?

## Лабораторная работа № 7

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДНО-ПЕРЕПАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОДРОСЕЛЯ И РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА (СКОРОСТИ)

#### Цель работы:

1. Изучение назначения, схемы и конструкции регуляторов скорости.
2. Изучение установки и методики определения перепадно-расходных характеристик дросселя и регулятора скорости.
3. Определение экспериментальных данных и построение перепадно-расходных характеристик дросселя и регулятора скорости.

#### 1. Порядок выполнения работы

1. Изучить схему, конструкцию и принцип действия регулятора расхода (скорости) по данному учебному пособию и макетным образцам.
2. Изучить учебный стенд для определения перепадно-расходных характеристик дросселя и регулятора скорости.
3. Изучить методики определения перепадно-расходных характеристик дросселя и регулятора скорости.
4. Осуществить экспериментальные исследования и запись полученных результатов в таблицу.
5. Рассчитать перепады давления  $\Delta p$  и  $C$  по полученным результатам эксперимента.
6. Оформить отчет о лабораторной работе с приведением в нем цели работы, кратких теоретических сведений, схем регулятора расхода и стенда, таблицы и перепадно-расходных характеристик исследуемых гидроаппаратов  $Q = f(\Delta p)$ .

#### 2. Регуляторы скорости

В лабораторной работе № 1 рассмотрены гидравлические дроссели. Там отмечалось, что расход жидкости через дроссель определяется по формуле:

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода ( $\mu = 0,6-0,7$ );

$A$  – площадь рабочего проходного сечения;

$\rho$  – плотность рабочей жидкости;

$\Delta p$  – перепад давлений жидкости на дросселе.

Из формулы видно, что  $Q$  при прочих равных условиях зависит не только от  $A$ , но и от  $\Delta p$ . Чем меньше  $\Delta p$ , тем меньше расход  $Q$  через дроссель и наоборот. Так как перепад давлений зависит от нагрузки, приложенной к выходному звену гидродвигателя, при переменной нагрузке нельзя получить только с помощью дросселя постоянный расход и, следовательно, стабильную скорость выходного звена гидродвигателя. Поэтому в гидроприводах с дроссельным управлением необходимо в ряде случаев применять не дроссели, а другие гидроаппараты, предназначенные для регулирования расхода жидкости, – регуляторы расхода.

**Регулятором расхода (потока, скорости)** называется гидроаппарат управления расходом, предназначенный для поддержания заданного значения расхода независимо от перепада давлений в подводимом и отводимом потоках рабочей жидкости, а следовательно, для регулирования и стабилизации скорости движения исполнительного органа гидродвигателя.

Конструктивно такие регуляторы представляют собой блоки, состоящие из регулируемого дросселя и клапана. При помощи дросселя, как правило, управляют расходом рабочей жидкости, а при помощи клапана автоматически обеспечивают постоянный перепад давлений на дросселе. Клапаны, входящие в состав регуляторов расхода, могут быть включены с дросселем как последовательно, так и параллельно.

На рисунке 7.1 показан регулятор расхода типа ПГ52-2 (МПГ55-2), состоящий из корпуса 1, деталей регулируемого дросселя типа ПГ77-1 (втулки 2, втулки-дросселя 3, винта 4, указателя оборотов 5, валика 6, конtringайки 7, лимба 8, штифта 9, пружины 10, пробки 11) и деталей редукторного клапана (пробок 12, пружины 13, втулки 14, золотника 15).

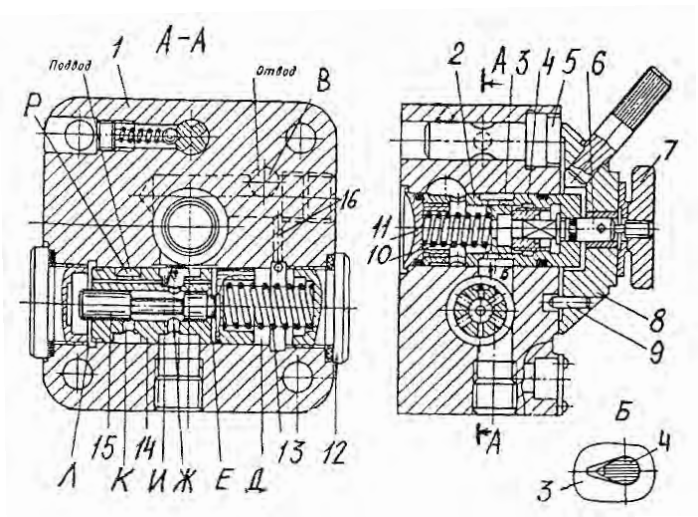


Рисунок 7.1 – Регулятор расхода жидкости

Принцип работы регулятора расхода следующий. Рабочая жидкость подводится в отверстие *Р* (подвод) и поступает далее через отверстие *К* ко втулке *14*, частично перекрытое рабочей кромкой золотника *15*, и отверстие *Ж* в этой втулке к дросселирующей щели регулирующего гидродросселя (см. вид *Б*) втулки *2*, а затем – к отверстию *В* (отвод). Золотник *15* находится в равновесии под воздействием усилия пружины *13* и сил давления жидкости в его торцовых полостях *Е* и *Л*, соединенных с полостью *И* входа в дросселирующую щель гидроусилителя, а также сил давления в полости *Д*, соединенной с выходом из дросселирующей щели дросселя с помощью канала *16* в корпусе *1*.

При осевых перемещениях золотника изменяется гидравлическое сопротивление отверстий *К*, благодаря чему давление  $p_1$  на входе в дросселирующую щель понижается по сравнению с давлением в напорной линии.

Чтобы упростить понимание принципа работы данного регулятора, приведена его схема (рисунок 7.2), на которой сохранены обозначения, принятые на рисунке 7.1.

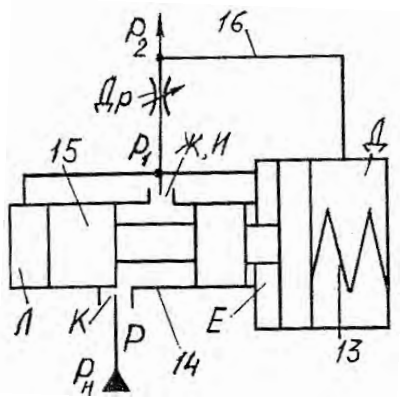


Рисунок 7.2 – Конструктивная схема регулятора расхода жидкости

При помощи регулируемого дросселя, как правило, управляют расходом рабочей жидкости (что было рассмотрено в лабораторной работе № 1), а при помощи клапана автоматически обеспечивается постоянный перепад давлений на этом дросселе. Это осуществляется следующим образом. Если при изменении нагрузки на исполнительном звене гидродвигателя, например, начнет повышаться давление  $p_2$ , нарушится равновесие золотника 15, и он начнет сдвигаться влево, открывая на большую величину проходное сечение канала  $K$ . При этом увеличится расход жидкости в полостях  $Ж$  и  $И$ , а значит, возрастет  $p_1$  и сохранится перепад на дросселе  $\Delta p = p_1 - p_2 = \text{const}$ . Аналогично работает клапан при падении  $p_2$  и смещении золотника 15 вправо. Сечение отверстия  $K$  уменьшается,  $p_1$  понижается и сохраняется  $\Delta p = \text{const}$ .

Постоянство  $\Delta p$  в процессе работы регулятора можно также пояснить с помощью составления уравнения баланса сил, действующих на золотник 15 (без учета сил трения):

$$p_2 \frac{\pi D^2}{4} + P_{\text{уп}} = p_1 \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) + p_1 \frac{\pi d^2}{4},$$

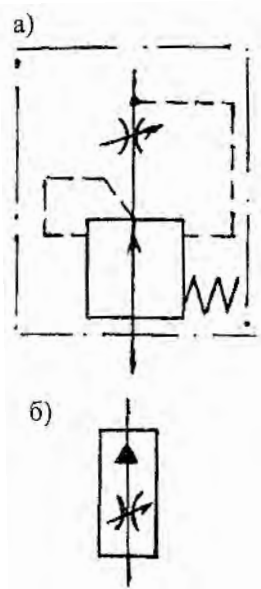
где  $D$  и  $d$  – диаметры большого и малого пояска золотника;

$p_1$  – редуцированное давление в полостях Ж и И;

$p_2$  – давление жидкости на выходе из регулятора.

Необходимо также отметить, что имеются другие конструкции регуляторов расхода, например, регуляторы расхода типа ПГ55-1 (МПГ55-3) с обратным клапаном, применяемые для регулирования скорости движения рабочих органов в одном направлении независимо от нагрузки и возврата в исходное положение без регулирования скорости, а также регуляторы расхода ПГ55-1 (МПГ 55-1) с предохранительным клапаном, позволяющие сливать часть рабочей жидкости при увеличении давления последней сверх настроенной величины, и ряд других конструкций с дистанционным электрическим управлением.

Условное детальное обозначение регулятора расхода по ГОСТ 2.781-96 приведено на рисунке 7.3, а, упрощенное – на рисунке 7.3, б.



а – полное; б – упрощенное

Рисунок 7.3 – Условные обозначения регулятора



### 3. Описание установки и методики проведения эксперимента

Испытания дросселя и регулятора расхода можно проводить на универсальном стенде, используя один из контуров (программа № 3).

В этом случае установка состоит из насоса 1, приводимого в работу электродвигателем Д; предохранительного клапана 2; датчика расхода жидкости турбинного типа 3, соединенного электрически с частотомером; регулятора расхода (скорости) 4; регулируемого вручную дросселя для изменения нагрузки на выходе регулятора имитации работы двигателя Д; манометров  $M_{11}$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{13}$  для изменения давлений жидкости соответственно на входе регулятора 4, его выходе (входе дросселя 5) и на выходе дросселя 5; гидролиний 7; пульта управления стендом (на схеме не показан).

По программе № 3 на универсальном стенде БНТУ приняты обозначения предохранительного клапана, насоса, дросселя регулятора расхода и дросселя соответственно через ПК1, Н1, Д2 и Д7 (см. рисунок 7.4).

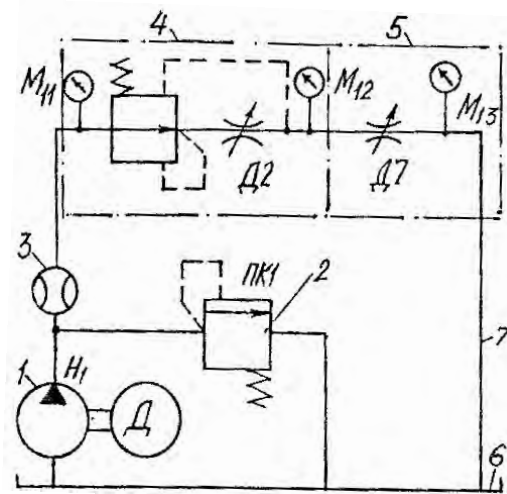


Рисунок 7.4 – Схема стенда для испытания дросселя и регулятора расхода

#### 4. Испытание дросселя

При испытании дросселя нагрузка создается регулятором расхода, т.е. происходит регулирование «с дросселем на входе». Чтобы снять данные для построения перепадно-расходной характеристики  $Q = f(\Delta p)$  дросселя  $D7$  на стенде, необходимо:

1. Закрыть полностью проходное сечение регулятора скорости  $D2$  (рисунок 7.4).

2. Установить рабочее давление насоса  $H1$  с помощью предохранительного клапана  $ПК1$ , равное 3 МПа (30 кгс/см<sup>2</sup>), которое определяется по манометру  $M_{11}$ .

3. Открыть рабочее проходное сечение регулятора скорости  $D2$  на полную величину (возможно также устанавливать разные проходные сечения и повторять замеры для каждого из них).

4. Открыть полностью дроссель  $D7$  (см. рисунок 7.4).

5. Записать в таблицу 7.1 показания манометров  $M_{12}$ ,  $M_{13}$  и частотомера  $f$ .

6. Закрывать на некоторую величину регулятор скорости  $D2$  (5–6 положений до полного его закрытия).

7. Заносить в таблицу 7.1 показания  $M_{12}$ ,  $M_{13}$  и частотомера  $f$  для каждого положения регулятора скорости  $D2$  до полного его закрытия.

#### 5. Испытания регулятора расхода

При испытании регулятора расхода нагрузка создается с помощью дросселя  $D7$ , то есть происходит регулирование «с дросселем на выходе». Чтобы снять данные для построения перепадно-расходной характеристики  $Q = f(\Delta p)$  регулятора расхода  $D2$  на стенде, необходимо:

1. Закрыть полностью проходное сечение дросселя  $D7$  (рисунок 7.4).

2. Установить рабочее давление насоса  $H1$  с помощью предохранительного клапана  $ПК1$ , равное 3 МПа (30 кгс/см<sup>2</sup>), которое определяется по манометру  $M_{11}$ .

3. Открыть рабочее проходное сечение регулятора скорости  $D2$  на полную величину (возможно также устанавливать разные проходные сечения и повторять замеры для каждого из них).

4. Открыть полностью дроссель  $D7$  (см. рисунок 7.4).

5. Записать в таблицу 7.1 показания манометров  $M_{11}$ ,  $M_{12}$  и частотомера  $f$ .

6. Закрывать на некоторую величину регулятор скорости Д7 (5–6 положений до полного его закрытия).

7. Заносить в таблицу 7.1 показания  $M_{11}$ ,  $M_{12}$  и  $f$  для каждого положения дросселя Д7 до полного его закрытия.

Таблица 7.1 – Результаты эксперимента

	Показания, МПа			$\Delta\rho = \rho_{11} - \rho_{12}$ , МПа	$\Delta\rho = \rho_{12} - \rho_{13}$ , МПа	Показания частото- мера $f$ , Гц	Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с (л/с)
	$M_{11}$	$M_{12}$	$M_{13}$				
Испытания дросселя Д7							
1	–			–			
2	–			–			
3	–			–			
4	–			–			
5	–			–			
Испытания регулятора расхода							
1			–		–		
2			–		–		
3			–		–		
4			–		–		
5			–		–		

По показаниям приборов стенда, занесенным в таблицу 7.1, рассчитывается перепад давлений жидкости  $\Delta\rho$  и расход жидкости  $Q = a + bt$ , м<sup>3</sup>/с, для каждого замера при испытании дросселя и регулятора расхода. Коэффициенты  $a$  и  $b$  берутся по паспорту для конкретного датчика расхода, установленного на стенде:

$$a = 0; b = 0,0008 \text{ л/имп.} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{имп.}$$

По значениям данных таблицы 7.1 строятся перепадно-расходные характеристики  $Q = f(\Delta\rho)$  дросселя 5 и регулятора расхода 4 (см. рисунок 7.4).

Эти характеристики можно построить на одном графике.

## Контрольные вопросы

1. Назначение, конструкция, принцип действия регуляторов расхода (скорости).
2. Условное обозначение по ГОСТ 2.781-96 регулятора расхода.
3. Почему при регулировании скорости выходного звена двигателя не всегда можно воспользоваться только регулируемым дросселем?
4. Что такое перепадно-расходная характеристика?
5. Методики экспериментального определения перепадно-расходных характеристик дросселя и регулятора скорости.
6. Показать основные детали изучаемого в работе регулятора скорости на имеющемся в лаборатории его макетном образце.

## Лабораторная работа № 8

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОЛОТНИКОВОГО ДРОССЕЛИРУЮЩЕГО ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

#### **Цель работы:**

1. Ознакомление со схемой, устройством и принципом действия испытуемого золотникового распределителя.
2. Изучение стенда и методики снятия статических характеристик распределителя.

#### **1. Порядок выполнения работы**

1. Изучить схему, конструкцию и принцип действия распределителя.
2. Изучить схему и принцип действия экспериментальной установки.
3. Изучить методику проведения эксперимента по снятию характеристик распределителя.
4. Провести эксперимент по приведенной ниже методике.
5. Заполнить таблицу.
6. Оформить отчет по лабораторной работе с приведением в нем схемы распределителя и экспериментальной установки (с кратким описанием их), таблицы и построенных характеристик распределителя.

#### **2. Краткие теоретические сведения**

Схемы и конструкции гидравлических распределителей изучаются при выполнении лабораторной работы № 5.

Следует напомнить, что гидрораспределитель – это гидроаппарат, предназначенный для изменения направления потока жидкости, пуска и остановки его, а также для регулирования давления и расхода (подачи) жидкости.

Цилиндрический золотниковый дросселирующий распределитель содержит, как правило, корпус (гильзу) и цилиндрический золотник. В дросселирующем распределителе золотник может занимать бесконечное множество промежуточных положений дроссели-

рующих элементов распределителя от полного открытия до полного закрытия их.

Чтобы определить зависимость между перемещением золотника  $h$  и расходом  $Q$ , перемещением  $h$  и перепадом давления  $p$ , расходом  $Q$  и давлением  $p$  (или наоборот), рассчитываются или снимаются экспериментальным путем статические характеристики распределителя:

$Q = f(h)$  – расходная;

$\Delta p = f(h)$  – перепадная;

$\Delta p = f(Q)$  – расходно-перепадная;

$Q = f(\Delta p)$  – перепадно-расходная [5].

В данной лабораторной работе будет экспериментально исследоваться распределитель типа P102. Конструкция его аналогична конструкции распределителя типа B6, приведенного на рисунке 5.9 в лабораторной работе № 5. Отличие в том, что такие распределители могут иметь пятилинейное исполнение и несколько отличающееся электрическое управление.

Конструктивная схема исследуемого в данной работе распределителя приведена на рисунке 8.1. На схеме показано, как можно перемещать золотник 1 с помощью дополнительно установленного винта 2 и регулировать величину этого перемещения с помощью индикатора 3, установленного на кронштейне 4 и опирающегося своим подвижным наконечником 5 на винт 2. Последний своим торцом 6 нажимает на золотник 1, установленный в корпусе распределителя 7. На серийно изготовленном распределителе устанавливается два электромагнита 8 (рисунок 5.9 лабораторная работа № 5). В исследуемой конструкции один электромагнит снят и заменен винтом 2 с индикатором перемещения 3. Толкатель 9 электромагнита 8 соединен с золотником 1 специальной конструкции, которая на схеме упрощена и обозначена позицией 10. Выходные полости A и B в испытуемом распределителе соединены между собой на схеме (рисунок 8.1). Пружины 11 и 12 служат для смещения золотника 1 в нейтральное положение, при котором напорная гидролиния, соединенная с отверстием  $p$ , не сообщается со сливным каналом T. При вращении винта 2 в ту или другую сторону золотник 1 перемещается вправо или влево. Если золотник 1 передвигается вправо, открывается рабочее окно I и III распределителя, а при обратном передвижении – окна II и IV. После установки манометров  $M_{13}$ ,  $M_{14}$ ,  $M_{15}$  (рисунок 8.1, 8.2) можно регистрировать давление в разных линиях распределителя

(перепады давления во всех рабочих окнах распределителя и суммарные перепады на включенных в работу окнах при той или иной позиции распределителя).

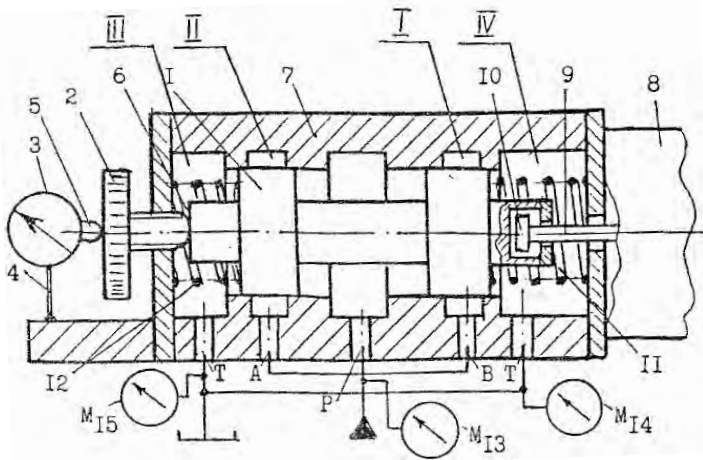


Рисунок 8.1 – Конструктивная схема гидрораспределителя

При аналогичном исследовании перепады давления на рабочем окне (рабочей щели) определяются по формуле Торричелли:

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2\Delta\rho}{\rho}}$$

где  $Q$  – расход жидкости через проходное сечение рабочего окна, м<sup>3</sup>/с;

$A = \pi dh$  – площадь этого проходного сечения (здесь  $d$  – диаметр золотника, м<sup>2</sup>);

$h$  – величина открытия проходного сечения, т.е. перемещения золотника, м;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – коэффициент расхода ( $\mu = 0,6-0,7$ );

$\Delta\rho = \rho_{вх} - \rho_{вых}$  – перепад давления на рабочем окне (здесь  $\rho_{вх}$  и  $\rho_{вых}$  – давление жидкости на входе и выходе рабочего окна), МПа.

### 3. Описание стенда и методика проведения эксперимента

Испытание гидрораспределителя проводится на универсальном стенде с использованием одного из контуров (программа № 3). Экспериментальная установка (рисунок 8.2) состоит из насоса 1, предохранительного клапана 2, фильтра 3, датчика 4 расхода жидкости, регулятора расхода потока (скорости) 5, испытуемого распределителя 6, индикатора перемещений 7, манометров  $M_{11}$ ,  $M_{13}$ ,  $M_{14}$ ,  $M_{15}$  (если принять, что в сливной гидролинии  $10 \rho_{сл} = 0$ , то  $M_{15}$  можно не устанавливать), гидробака 9.

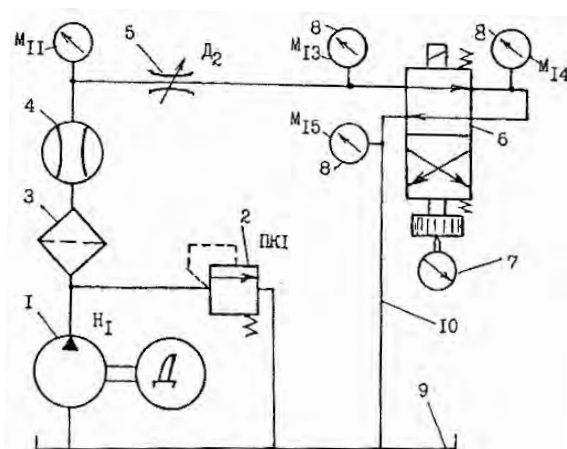


Рисунок 8.2 – Схема стенда для испытания гидрораспределителя

Эксперимент проводится по следующей методике:

1. На пульте управления устанавливается программа № 3.
2. Включается в работу насос (нажатием кнопки «Пуск»).
3. Закрывается дроссель регулятора расхода (скорости)  $D_2$  с помощью регулировочного винта.
4. Поворотам винта предохранительного клапана 2 устанавливается величина рабочего давления жидкости 3–4 МПа. Контроль проводится по манометру  $M_{11}$ .
5. Полностью открывается проходное сечение регулятора расхода  $D_2$ .
6. Подается напряжение на электромагнит распределителя 6 путем включения тумблера на панели.



7. С помощью винта регулируется ход золотника 1 распределителя (рисунок 8.1). На рисунке этот винт показан позицией 2. Вращая винт 2, устанавливаем золотник 1 (рисунок 8.1) в одно из крайних положений (об этом свидетельствует максимальное значение  $f$  на частотомере, т.е.  $Q = Q_{\max}$ ). При этом шкалу датчика перемещений совмещаем с нулем. Затем вращаем винт 2 так, чтобы получилось 5–6 различных позиций золотника 1 до его нейтрального положения, т.е. до перекрытия выходных линий  $A$  и  $B$  (об этом свидетельствует отсутствие расхода и давления жидкости на манометре  $M_{14}$ ).

Для каждой из этих позиций регулируем показание манометра  $M_{13}$ ,  $M_{14}$ ,  $M_{15}$ , индикатора перемещений 3 и частотомера. Результаты записываем в таблицу 8.1.

Показания датчика перемещений при отсутствии расхода и давления рабочей жидкости соответствуют величине  $h_{\max}$  максимального открытия выходной линии в крайнем положении золотника. Максимальный расход  $Q_{\max}$  (максимальное значение  $f$  на частотомере) соответствует величине  $h_{\max}$ .

Величина открытия золотника в последующих 5–6 позициях определяется как разность между  $h_{\max}$  и показаниями датчика перемещений в соответствующей позиции.

8. Перемещение золотника 1 возможно производить далее от нейтрального положения до его второй крайней позиции, регистрируя показания приборов аналогично пункту 7. При этом показания  $h_{\max 1}$  датчика перемещений, соответствующие появлению расхода и давления рабочей жидкости, определяют величину зоны нечувствительности, которая находится как

$$\Delta h = h_{\max 1} - h_{\max}.$$

Величина открытия золотника в последующих позициях будет определяться как разность между текущим показанием датчика перемещений и  $h_{\max 1}$ .

Перемещение золотника до второй крайней позиции позволяет определить полный ход золотника  $h_{\text{пол}}$ .

9. После заполнения таблицы 8.1 по показаниям приборов рассчитывается расход по формуле  $Q = a + bf$ , м<sup>3</sup>/с (смотри лабораторную работу № 7) и строятся графики:

$$Q = f(\Delta\rho_1),$$

где  $\Delta\rho_1 = \rho_{13} - \rho_{14}$ ;

$$Q = f(\Delta\rho_2),$$

где  $\Delta\rho_2 = \rho_{13} - \rho_{14}$ .

Следует отметить, что по полученным данным можно также построить расходную характеристику  $Q = f(h)$  и перепадную  $\Delta\rho = f(h)$ . Построение характеристик осуществляется для перемещений золотника в обе стороны.

Таблица 8.1

№ п/п	Показания расходомера $f$ , Гц	Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Показания манометров, МПа			Ход золотника $h$ , мм	Перепад давления $\Delta\rho$ , МПа	
			$M_{13}$	$M_{14}$	$M_{15}$		$\Delta\rho_1 = \rho_{13} - \rho_{14}$	$\Delta\rho_2 = \rho_{13} - \rho_{14}$
1								
2								
...								
$n$								

*Примечание.* Построение одной или нескольких характеристик определяется преподавателям.

### Контрольные вопросы

1. Назначение, конструкция, принцип действия испытуемого гидрораспределителя.
2. Схема и принцип действия экспериментальной установки.
3. Методика проведения эксперимента по определению статических характеристик распределителя.
4. Какие типы статических характеристик можно построить?

## Лабораторная работа № 9

### ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ

**Цель работы:** изучение схем, конструкций и принципа действия усилителей.

#### 1. Порядок выполнения работы

1. Изучить схемы и принцип действия усилителей по данному учебному пособию.
2. Изучить конструкцию усилителей по имеющимся макетным образцам.
3. Оформить отчет о лабораторной работе с приведением в нем цели работы, схем усилителей (выбор необходимых в отчете схем осуществляется преподавателем), краткого описания.

#### 2. Гидравлические усилители

**Гидроусилитель** – это устройство или совокупность устройств, преобразующих движение управляющего элемента в движение управляющего элемента большей мощности с одновременным согласованием этих движений по скорости, направлению и перемещению.

Увеличение передаваемой мощности происходит за счет энергии, подводимой с помощью рабочей жидкости от насосной станции, гидро-аккумулятора и других питающих источников.

Наибольшее распространение в технике получили два типа усилителей: *с дроссельным* (золотниковым или типа «сопло-заслонка») и *со струйным управлением*.

Обычно усилители строятся по трем отличающимся друг от друга методам управления:

- а) без обратной связи (разомкнутые);
- б) с обратной связью (замкнутые);
- в) с комбинированной системой управления.

Известные гидроусилители отличаются друг от друга числом и расположением дросселей, числом каскадов, наличием различных обратных связей.

На рисунке 9.1 показана схема золотникового усилителя, содержащего гидрораспределитель 1 с отрицательным перекрытием рабочих окон 2, 3, 4, 5, который через гидрролинии 6 и 7 соединен с гидродвигателем (гидроцилиндром) 8, через 9 и 10 – с насосом (напорной линией) и сливной магистралью. В гидроцилиндре установлены возвратные пружины 11 и 12.

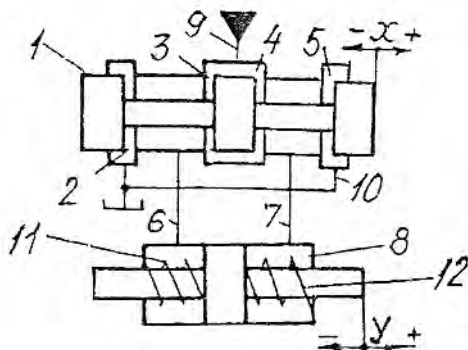


Рисунок 9.1 – Схема золотникового усилителя без обратной связи

При нейтральном положении золотника распределителя ( $X = 0$ ) в полостях гидроцилиндра установятся одинаковые давления. При перемещении золотника на какую-то величину  $X$ , например, вправо, рабочие окна (щели) 2 и 4 уменьшаются, а 3 и 5 увеличиваются, поэтому создается перепад давления рабочей жидкости в левой и правой полостях гидроцилиндра. Поршень и штоки гидроцилиндра смещаются вправо до тех пор, пока сила сжатия пружины 12 не уравновесит силу, обусловленную перепадом давления в полостях гидроцилиндра. Таким образом, пружины гидроцилиндра обеспечивают «скрытую» обратную пропорциональную связь между перемещением  $X$  золотника распределителя и перемещением  $Y$  поршня цилиндра 8. Схема гидроусилителя с механической (кинематической) обратной связью приведена на рисунке 9.2. Он состоит из дифференциального рычага 1, имеющего два плеча  $A$  и  $B$ , гидрораспределителя 2 с четырьмя рабочими окнами (щелями) 3, 4, 5 и 6, имеющими небольшие положительные перекрытия; гидродвигателя 7.

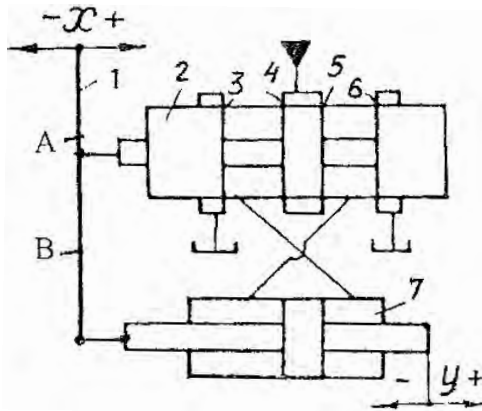


Рисунок 9.2 – Схема гидроусилителя с механической обратной связью

При перемещении золотника распределителя 2 вправо на величину  $X$  открываются рабочие окна 4 и 6 последнего. Жидкость поступает в правую полость гидроцилиндра 7 и сливается из его левой полости. Шток и поршень гидроцилиндра 7 перемещаются влево и через рычаг 1 передвигают влево золотник распределителя 2. После закрытия рабочих окон 4 и 6 движение штоков гидроцилиндра 7 прекращается. Соотношение величин перемещений  $X$  и  $Y$  связано с принятыми длинами  $A$  и  $B$  рычага 1.

Схема гидроусилителя с силовой обратной связью по положению приведена на рисунке 9.3. Если к золотнику 2 приложить какое-то усилие управления, например,  $F_y$ , последний переместится влево, и жидкость будет поступать в левую полость гидроцилиндра 3, а из правой вытекать в бак. Поршень и шток гидроцилиндра 3 перемещаются вправо, увлекая за собой дифференциальный рычаг 1, который воздействует на пружину 4. Возникающее усилие в пружине (усилие обратной связи)  $F_{oc}$  будет увеличиваться. После достижения  $F_{oc} = F_y$  перемещение поршня гидроцилиндра 3 прекращается.

В электрогидравлических усилителях происходит преобразование электрического управляющего усилия в усиленный выходной сигнал гидродвигателя (гидроцилиндра).

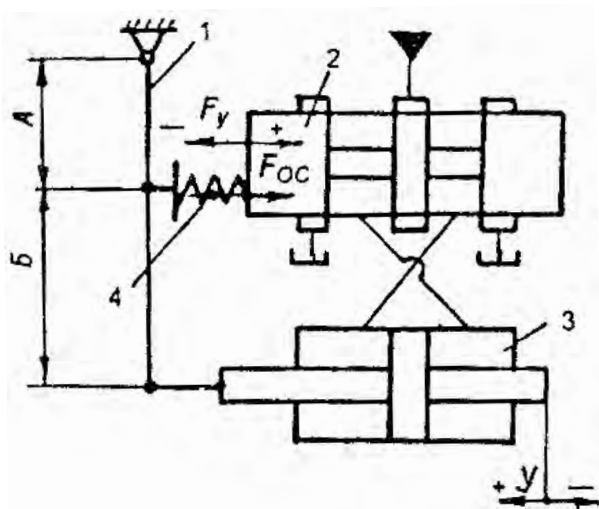


Рисунок 9.3 – Схема гидроусилителя с силовой обратной связью

Схема электрогидравлического усилителя (ЭГУ) без обратной связи (ОС) показана на рисунке 9.4. ЭГУ содержит следящий электромеханический преобразователь 1, преобразующий управляющий входной электрический сигнал в механическое перемещение заслонки 2 двухщелевого гидрораспределителя «сопло-заслонка» 4, имеющего два сопла 3. ЭГУ содержит также четырехлинейный трехпозиционный гидрораспределитель 6 с возвратными пружинами 7 и 8. Дроссели 5 уменьшают количество жидкости, вытекающей через рабочие щели распределителя «сопло-заслонка», и величину управляющего давления жидкости на торцах распределителя 6.

При подаче управляющего электрического сигнала электромеханический преобразователь передвигает заслонку 2, например, вправо. Рабочая щель 9 увеличивается, а щель 10 уменьшается, поэтому давление на правом торце распределителя 6 нарастает, а на левом торце понижается. Золотник распределителя 6 перемещается влево и жидкость через гидролинии 11 – в гидроцилиндр, а через линию 12 сливается в бак.

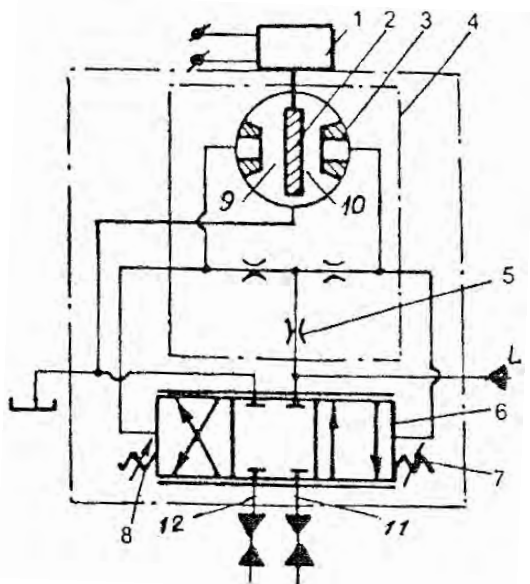


Рисунок 9.4 – Схема электрогидравлического усилителя без обратной связи

Схема ЭГУ с силовой обратной связью показана на рисунке 9.5. ЭГУ имеет следящий электромеханический преобразователь 1, двухщелевой гидрораспределитель «сопло-заслонка» 2, заслонка которого заканчивается плоской консольной пружиной 3 обратной связи со сферой 4 на конце, размещенной в кольцевой проточке золотника гидрораспределителя 6.

При подаче управляющего электрического сигнала на преобразователь 1 заслонка, преодолевая жесткость пружины 3, смещается, например, вправо. На заслонке возникает момент  $M_1$ . После смещения заслонки левая рабочая щель распределителя «сопло-заслонка» уменьшается, а правая увеличивается, поэтому давление жидкости на левом торце гидрораспределителя 6 повышается, а на правом уменьшается. Золотник распределителя 6 перемещается вправо, и включается в работу его левая позиция. Рабочая жидкость поступает в гидролинию 7, соединенную с гидроцилиндром, и сливается из линии 8 в бак. При этом продолжается перемещение золотника рас-

пределителя  $b$  вправо до тех пор, пока увеличивающийся момент  $M_2$  не достигнет величины момента  $M_1$ . После достижения  $M_2 = M_1$  заслонка сместится в нейтральное положение, давления жидкости на торцах золотника распределителя  $b$  выравняются, золотник вернется в нейтральное положение, и движение поршня гидроцилиндра прекратится.

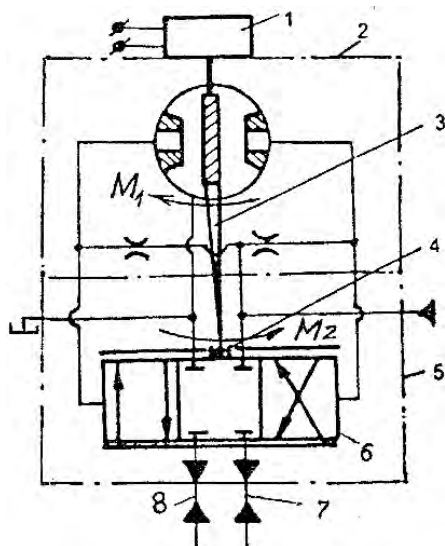


Рисунок 9.5 – Схема электрогидравлического усилителя с силовой обратной связью

Электрогидравлические рулевые агрегаты входят в комплект автопилотов и предназначены для приведения в движение рулевых органов летательных аппаратов. Они содержат гидроусилитель с двухкаскадным распределительным устройством (рисунок 9.6), состоящим из штока (управляющего золотника игольчатого типа) 1, исполнительного золотника 2, рабочей втулки 3, плунжера 4, дросселирующего отверстия (капилляра или регулируемого дросселя) 5. Корпус имеет рабочую камеру Ж и гидродлинии: подводящую – А, слива – Б, питания – В, Г (гидродвигателя). Давление в камерах Е и Ж поддерживается постоянными. Давление в камере Д определяется перепадом давления на дросселе 5 и рабочем окне управляющего



золотника 1. Исполнительный золотник 2 находится под действием двух сил: развиваемой на его торце давлением жидкости в рабочей камере Д и создаваемой на торцевой поверхности плунжера 4 давлением рабочей жидкости во вспомогательной камере Ж. Золотник 2 находится в равновесии только при определенном расстоянии между рабочими кромками втулки 3 и штока управления 1.

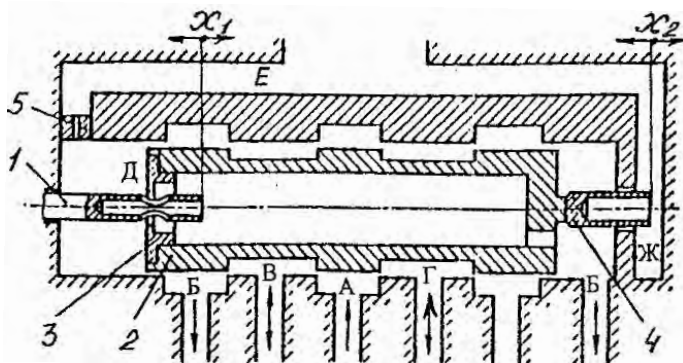


Рисунок 9.6 – Гидросилитель с двухкаскадным гидрораспределительным устройством

При перемещении  $X_1$  штока, например, влево давление в камере Д уменьшается вследствие увеличения сечения рабочих окон в штоке 1. Давление в камере Ж остается постоянным, поэтому золотник 2 перемещается влево. Объем камеры Д уменьшается с одновременным уменьшением площади рабочего окна. Изменяются давление в камере Д и сила давления на торец (втулку 3). При достижении равенства сил, действующих слева и справа на золотник 2, последний останавливается. При этом площадь рабочего окна штока (иглы) управления становится равной его первоначальной площади, т.е. исполнительный золотник переместится на расстояние, равное перемещению штока золотника управления (иглы). Таким образом, золотник 2 отслеживает перемещение штока 1 с учетом гидравлической обратной связи, реализуемой непосредственно исполнительным золотником 2. Принципиальная схема рулевого агрегата, в котором используется такой гидросилитель, приведена на рисунке 9.7.

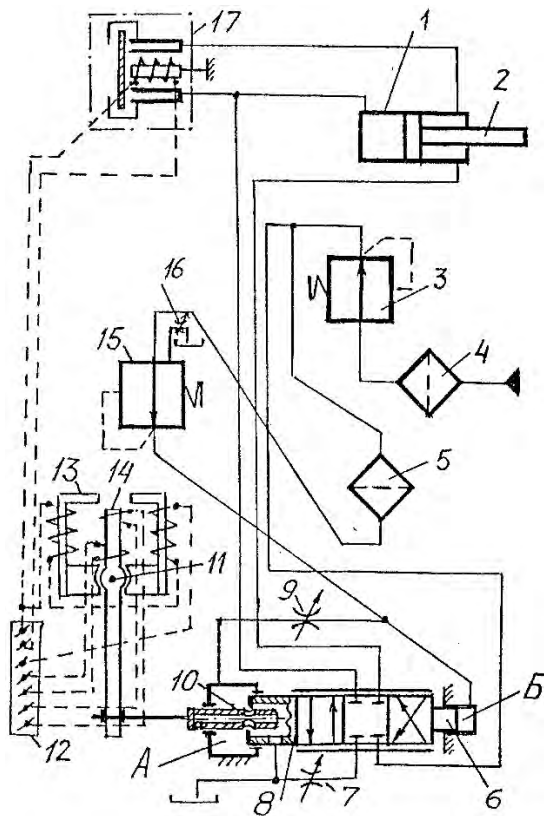


Рисунок 9.7 – Принципиальная схема рулевого агрегата с гидроусилителем

В нейтральном положении электрический управляющий сигнал не подается на поляризованное электромеханическое реле 13, поэтому его якорь 14 под действием пружины занимает нейтральное положение. Рабочие окна полой иглы (управляющего золотника) 10 открыты со стороны камеры А наполовину. Сила давления в камере А на торец исполнительного золотника 8 слева равна силе давления в камере В на торец плунжера 6 золотника 8 справа, так как площадь торца слева больше площади торца справа. А давление в камере А меньше давления в камере В. Золотник 8 находится в нейтральном положении. Жидкость из насоса не поступает к цилиндру 1.

Если, например, подается электросигнал определенной величины на реле 13, и его якорь 14 сдвигает иглу вправо, то рабочие окна в игле со стороны камеры А прикрываются, поэтому давление в этой камере увеличивается. А в камере В остается постоянным. Золотник 8 начинает перемещаться в правую сторону, и рабочая жидкость из выхода редуционного клапана 3 через распределитель поступает в поршневую полость цилиндра 1, а из штоковой полости через распределитель идет на слив. Шток 2 перемещается вправо. При перемещении золотника 8 вправо одновременно увеличиваются площади рабочих окон иглы 10. Следовательно, давление в камере А падает. И наступает такой момент, когда силы давления слева и справа на золотнике 8 уравниваются. Последний займет нейтральное положение. И жидкость не будет поступать в гидроцилиндр 1, то есть перемещение штока 2 будет пропорционально перемещению иглы 10 (заданному входному сигналу).

Под позицией 17 обозначен электромагнитный клапан, сообщающий или разобщающий между собой штоковую и поршневую полости гидроцилиндра 1. Редуционные клапаны обозначены позициями 3 и 15.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение, применение и принцип действия усилителей.
2. Типы гидравлических и электрогидравлических усилителей.
3. Принцип действия рулевого агрегата самолета и его гидроусилители.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Средства гидропневмоавтоматики / А.Ф. Андреев [и др.]. – Минск: ВУЗ – ЮНИТИ БГПА – ИСН, 1998. – 224 с.
2. Башта, Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
3. Баранов, В.Н. Электрогидравлические следящие приводы вибрационных машин / В.Н. Баранов. – М.: Машиностроение, 1998. – 264 с.
4. Пневмогидроаппараты и системы смазки технологического оборудования: каталог / Филиал НИИ Навтопрома. – Тольяти, 1985. – 127 с.
5. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников, А.А. Усов. – М.: Машиностроение, 1982. – 464 с.
6. Чупраков, В.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики / В.И. Чупраков. – М.: Машиностроение, 1979. – 232 с.
7. Шагинян, А.С. Электрогидравлические усилители / А.С. Шагинян, В.В. Болотский. – Гомель: ГГТУ, 2001. – 105 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ .....	3
Лабораторная работа № 1	
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДРОССЕЛИ .....	4
Лабораторная работа № 2	
ГИДРОКЛАПАНЫ, РЕГУЛЯТОРЫ, ДЕЛИТЕЛИ И СУММАТОРЫ ПОТОКА .....	13
Лабораторная работа № 3	
ОДНОКАСКАДНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ КЛАПАНЫ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ... ..	24
Лабораторная работа № 4	
ДВУХКАСКАДНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ КЛАПАНЫ НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ .....	32
Лабораторная работа № 5	
ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛИ .....	40
Лабораторная работа № 6	
ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАПАНА НЕПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ .....	54
Лабораторная работа № 7	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДНО-ПЕРЕПАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОДРОССЕЛЯ И РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА (СКОРОСТИ) ..	60
Лабораторная работа № 8	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОЛОТНИКОВОГО ДРОССЕЛИРУЮЩЕГО ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ .....	69
Лабораторная работа № 9	
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ .....	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	84

Учебное издание

## СРЕДСТВА ГИДРОАВТОМАТИКИ

Лабораторные работы (практикум)  
по дисциплинам «Средства гидропневмоавтоматики»  
и «Элементы управления и регулирования гидропневмосистем»  
для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы  
мобильных и технологических машин»

С о с т а в и т е л и :  
БАРТОШ Петр Романович  
КИШКЕВИЧ Павел Нестерович  
ФИЛИПОВА Людмила Геннадьевна  
УС Ирина Петровна

Редактор Т.А. Подолякова  
Компьютерная верстка Д.К. Измайлович

---

Подписано в печать 20.05.2010.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л 5,0. Уч.-изд. л. 3,91. Тираж 100. Заказ 1159.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.