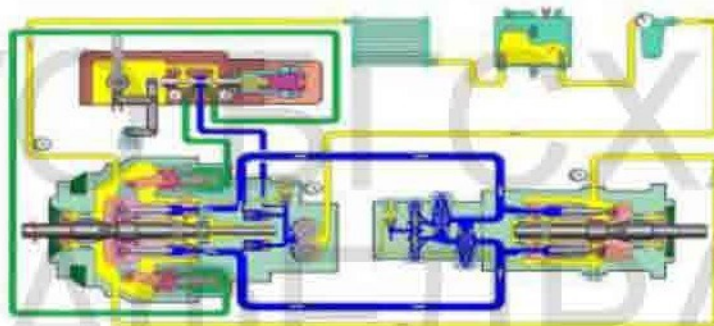


# ГИДРОПРИВОД МАШИН ДЛЯ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА



УСЛОВИЯ  
КАФЕДРА  
ТРАКТОРЫ И  
АВТОМОБИЛИ

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О  
ГИДРОПРИВОДАХ И  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ  
МАШИНАХ.  
ОБЪЕМНЫЕ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ  
МАШИНЫ**

# 1. Принцип действия объемного гидропривода. Основные понятия

Под гидроприводом понимают совокупность устройств – гидромашин и гидроаппаратов, предназначенных для передачи механической энергии и преобразования движения при помощи жидкости.

Гидравлические приводы обладают свойствами, которые обеспечивают гидрофицированным машинам и механизмам высокие технико-экономические характеристики.

Основными областями применения гидроприводов являются:

- передача усилия или крутящего момента от одного элемента машины к другому (объемные (силовые) гидроприводы, робототехника, гидродинамические передачи);
- передача и усиление управляющего воздействия (следящие гидросистемы управления, системы гидроавтоматики, гидроусилители);
- смазывание и охлаждение узлов машин, различного оборудования.

По принципу действия гидроприводы делятся:

- *гидростатические (гидрообъемные);*
- *гидродинамические.*

Гидропривод содержащий гидростатические (гидрообъемные) машины называется **гидростатическим (гидрообъемным)**, а содержащий гидродинамические машины, соответственно **гидродинамическим**.

Принцип действия простейшего гидрообъемного привода основан на практической несжимаемости жидкости и передаче давления по закону Паскаля.

Закон Блеза Паскаля:  
«Изменение давления в любой точке жидкости в равновесном состоянии передается во все остальные точки без изменений».

Гидравлический привод характеризуется:

- плавностью движения выходных звеньев и простотой взаимного преобразования вращательного и возвратно-поступательного движений;
- бесступенчатым регулированием скоростей; свободой компоновки гидрооборудования;
- возможностью дистанционно и автоматически управлять системой и простотой защиты ее от перегрузок;
- возможностью получать большие результирующие усилия при малых усилиях в органах управления;
- удобством разветвления и суммирования мощности; высокой энергоемкостью единицы массы гидрооборудования;
- самосмазываемостью его элементов.

## Функциональная схема передачи энергии в объемном гидроприводе



На основании функциональной схемы можно заключить, что действующий объемный гидропривод должен включать в себя следующие элементы:

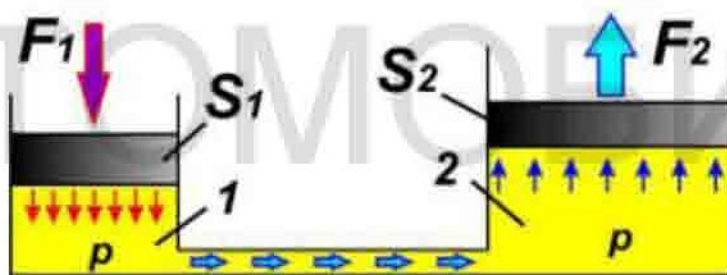
**Энергопреобразователи** – это устройства, обеспечивающие преобразование механической энергии в гидроприводе. К ним относятся: гидромашины (насосы и гидродвигатели), гидроаккумуляторы и гидропреобразователи.

**Кондиционеры рабочей среды** – это устройства, предназначенные для поддержания заданных качественных показателей и состояния рабочей жидкости (чистота, температура и т.п.). К ним относятся: фильтры, сепараторы, теплообменники и воздухопускные устройства (частично к этому классу устройств относятся и гидробаки, где также происходит очистка и охлаждение рабочей жидкости).

**Гидроаппараты** – это устройства, предназначенные для изменения или поддержания заданных значений параметров потока рабочей жидкости (давления, расхода, направления движения). Их еще называют элементами управления объемных гидроприводов. К ним относятся: гидродроссели, гидроклапаны и гидрораспределители.

Силую часть гидропривода, включающую в себя насос, гидродвигатели и соединяющие их гидролинии, называют **гидропередатчей**, а совокупность остальных элементов – **системой управления**.

Принципиальная схема простейшего объемного гидропривода



$F_1$  и  $F_2$  – внешнее усилие и нагрузка,  $H$ ;  
 $S_1$  и  $S_2$  – площадь поршня,  $m^2$ ;  
 $p$  – давление,  $Па$ ;  
 $Q$  – расход жидкости,  $m^3/c$ ;  
 $V_1$  и  $V_2$  – скорость поршней,  $m/c$ ;  
 $N_1$  и  $N_2$  – механическая мощность,  $Вт$ .

Если пренебречь потерями давления на движение жидкости в трубопроводе, то имеем

$$F_1 \Rightarrow p = F_1 / S_1 \Rightarrow F_2 = p \cdot S_2$$

$$\text{Расход } Q = V_1 \cdot S_1 \Rightarrow V_2 = Q / S_2$$

$$\text{Механическая мощность } N_1 = F_1 \cdot V_1 \Rightarrow N_2 = F_2 \cdot V_2$$

Весь процесс можно представить в виде следующего уравнения мощности

$$N_1 = F_1 \cdot V_1 = p \cdot S_1 \cdot V_1 = p \cdot Q = p \cdot S_2 \cdot V_2 = F_2 \cdot V_2 = N_2$$

По виду источника энергии объемные гидроприводы делятся на три типа:

1. **Насосный гидропривод** - это гидропривод, в котором рабочая жидкость подается в гидродвигатель объемным насосом, входящим в состав этого привода.

Данный вид привода нашел наиболее широкое применение в гидроприводах сельскохозяйственной техники.

В зависимости от характера циркуляции рабочей жидкости насосные гидроприводы бывают:

- с **замкнутым потоком** (жидкость от двигателя поступает во всасывающую гидролинию насоса);
- с **разомкнутым потоком** (жидкость от гидродвигателя поступает в гидробак).

2. *Аккумуляторный гидропривод* - это гидропривод, в котором рабочая жидкость подается в гидродвигатель от предварительно заряженного гидроаккумулятора.

Такие гидроприводы могут быть использованы в системах с кратковременным рабочим циклом.

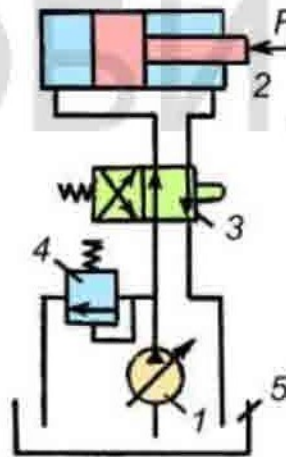
3. *Магистральный гидропривод* - это гидропривод, в котором рабочая жидкость подается в гидродвигатель от гидромагистрали. Поток рабочей жидкости в гидромагистрали создается насосной станцией, питающей несколько гидроприводов (централизованная система питания).

По характеру движения выходного звена различают следующие объемные гидроприводы:

1. *Поступательного движения* – с поступательным движением выходного звена гидродвигателя

(гидропривод с разомкнутой циркуляцией жидкости)

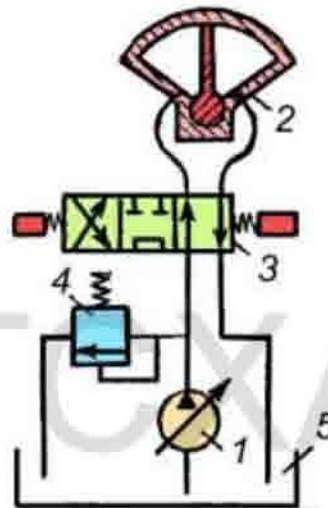
- 1 – регулируемый насос
- 2 – гидродвигатель
- 3 – гидрораспределитель
- 4 – предохранительный гидроклапан
- 5 – гидробак



2. *Поворотного движения* –

с поворотным движением  
выходного звена  
гидродвигателя  
на угол менее 360 град

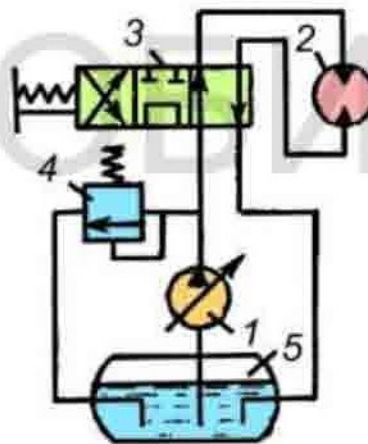
(гидропривод с разомкнутой  
циркуляцией жидкости)



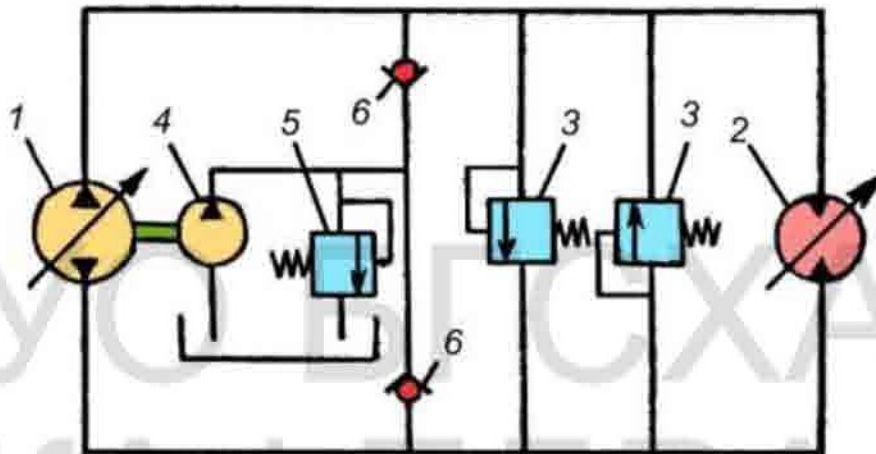
3. *Вращательного движения* –

с вращательным движением  
выходного звена  
гидродвигателя.

(гидропривод с разомкнутой  
циркуляцией жидкости)



Гидропривод вращательного движения с замкнутой циркуляцией жидкости



Если в объемном гидроприводе отсутствуют устройства для изменения скорости движения выходного звена гидродвигателя, то такие гидроприводы называются **неуправляемыми**.

Гидроприводы, в которых скорость выходного звена гидродвигателя может изменяться по заданному закону, называются **управляемыми**.

По способу регулирования скорости гидроприводы делятся на следующие два типа:

1. С *дрессельным управлением* – регулирование скорости осуществляется путем дресселирования потока рабочей жидкости и отвода части потока, минуя гидродвигатель;
2. С *объемным (машинным) управлением* – регулирование скорости происходит за счет изменения рабочих объемов насоса или гидродвигателя или обеих гидромашин одновременно.

Если в гидроприводе регулирование скорости осуществляется одновременно двумя рассмотренными способами, то он называется гидроприводом с *объемно-дрессельным* или *машинно-дрессельным* управлением.

В некоторых случаях в насосном гидроприводе регулирование производится за счет изменения скорости приводного двигателя (электродвигателя, дизеля и т.п.).

Такой тип гидропривода называется гидроприводом с *управлением приводящим двигателем*.

Регулирование скорости может осуществляться следующим образом:

*вручную* - гидропривод с ручным управлением;

*автоматически* - гидропривод с автоматическим управлением;

*по заданной программе* - программный гидропривод.

Если в гидроприводе скорость выходного звена поддерживается постоянной при изменении внешних воздействий, то такой гидропривод называется *стабилизированным*.

Объемный гидропривод, в котором перемещение выходного звена находится в строгом соответствии с величиной управляющего сигнала, называется *следающим гидроприводом*.

## **2. Гидромашины, их общая характеристика и основные параметры**

*Гидромашина* – это устройство, создающее или использующее поток жидкой среды.

Посредством этого устройства происходит преобразование подводимой механической энергии в энергию потока жидкости или наоборот.

К гидромашинам относятся насосы и гидродвигатели.

Насосом называется гидромашина, преобразующая механическую энергию привода в энергию потока рабочей жидкости.

Все гидромашины по принципу действия делятся на два основных типа: *динамические* и *объемные*.

**Динамическая гидромашина** – это гидромашина, в которой силовое взаимодействие ее рабочего органа с жидкостью происходит в проточной полости, постоянно сообщенной с входом и выходом гидромашины.

**Объемная гидромашина** – это гидромашина, в которой силовое взаимодействие ее рабочего органа с жидкостью происходит в герметичной рабочей камере, попеременно сообщаемой с входом и выходом гидромашины.

1. **Напор насоса**  $H_n$ , м – это приращение полной удельной механической энергии жидкости в насосе, т. е.

$$H_n = \underbrace{(z_2 - z_1)}_{\text{Разность геометрических высот}} + \underbrace{\frac{p_2 - p_1}{\rho g}}_{\text{Разность пьезометрических высот}} + \underbrace{\frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g}}_{\text{Разность скоростных напоров}},$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – высоты входного и выходного отверстия насоса, м;

$p$  – давление на входе и выходе насоса, МПа;

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

$V_1$  и  $V_2$  – скорости потока жидкости в входном и выходном отверстиях насоса, м/с;

**2. Подача насоса**  $Q_n$ ,  $m^3/c$  – объем жидкости, подаваемый насосом в напорный трубопровод в единицу времени.

**3. Частота вращения вала насоса**  $n$ ,  $об/c$  или  $c^{-1}$

в паспорте указывается номинальное, максимальное и минимальное значение этого параметра.

**Угловая скорость**  $\omega$ ,  $рад/c$

$$\omega = 2\pi n$$

**4. Мощность насоса**  $N$ ,  $кВт$  – это мощность, потребляемая насосом от привода.

$$N = M_n \omega$$

**Полезная мощность насоса**  $N_n$ ,  $кВт$  – это мощность, сообщаемая насосом потоку жидкости.

$$N_n = H_n \rho g Q_n = p_n Q_n$$

**5. Коэффициент полезного действия насоса**  $\eta_n$  – это отношение полезной мощности, развиваемой насосом, к потребляемой:

$$\eta_n = \frac{N_n}{N} = \frac{H_n \rho g Q_n}{M_n \omega}$$

**Гидродвигатель** – это гидромашина, преобразующая энергию потока рабочей жидкости в механическую работу.

Основными параметрами, характеризующими работу гидродвигателя, выходное звено которого совершает вращательное (гидромотор) или поворотное движение, являются:

- напор, потребляемый гидродвигателем, или перепад давления на гидродвигателе;
- расход, потребляемый гидродвигателем;
- частота вращения или угловая скорость вала гидродвигателя;
- момент, реализуемый на валу гидродвигателя;
- мощность гидродвигателя (полезная и потребляемая);
- коэффициент полезного действия (КПД) гидродвигателя.

**1. Напор, потребляемый гидродвигателем**  $H_{ГД}, м$  – это полная удельная механическая энергия, отбираемая гидродвигателем у потока рабочей жидкости

$$H_{ГД} = (z_1 - z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g}$$

Для подавляющего большинства гидродвигателей основной величиной, определяющей значение напора  $H_{ГД}$  потребляемого гидродвигателем, является разность пьезометрических высот (второе слагаемое в формуле).

Разность давлений на входе и выходе гидродвигателя называют давлением, потребляемым гидродвигателем, или перепадом давления на гидродвигателе  $\Delta p_{\text{гд}}$

$$\Delta p_{\text{гд}} = p_1 - p_2 = \rho g H_{\text{гд}}$$

**2. Расход, потребляемый гидродвигателем**  $Q_{\text{гд}}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  – объем жидкости, потребляемый гидродвигателем из напорного трубопровода в единицу времени.

**3. Частота вращения выходного вала гидродвигателя**  $n$ ,  $\text{об}/\text{с}$  или  $\text{с}^{-1}$  – в паспорте указывается номинальное, максимальное и минимальное значение этого параметра.

**4. Момент, реализуемый на выходном валу гидродвигателя**  $M_{\text{гд}}$ ,  $\text{Н}\cdot\text{м}$  – в паспорте указывается номинальное значение момента, которое при выборе гидродвигателя должно соответствовать максимальному расчетному моменту сопротивления вращению его вала от внешней нагрузки, подключенной к выходному валу гидродвигателя.

**5. Мощность гидродвигателя**  $N$ ,  $\text{кВт}$  – это мощность, потребляемая гидродвигателем у потока рабочей жидкости, проходящего через него.

$$N = H_{\text{гд}} \rho g Q_{\text{гд}} = \Delta p_{\text{гд}} Q_{\text{гд}}$$

**Полезная мощность гидродвигателя**  $N_{II}$ , кВт – это мощность, развиваемая на валу гидродвигателя.

При известных моменте  $M_{ГД}$  сопротивления вращению вала гидродвигателя и угловой скорости вращения  $\omega = 2\pi n$

$$N_{II} = M_{ГД} \omega$$

#### **6. Коэффициент полезного действия гидродвигателя**

$\eta_{ГД}$  – это отношение полезной мощности, развиваемой гидродвигателем, к потребляемой им мощности:

$$\eta_{ГД} = \frac{N_{II}}{N} = \frac{M_{ГД} \omega}{H_{ГД} \rho g Q_{ГД}} = \frac{M_{ГД} \omega}{\Delta p_{ГД} Q_{ГД}}$$

**В гидромашинах различают три вида потерь энергии**

**Гидравлические потери** – это потери напора на движение жидкости в каналах внутри гидромашины, оцениваются **гидравлическим КПД**  $\eta_{Г}$ .

Гидравлический КПД насоса

$$\eta_{Г} = \frac{H_{н}}{H_{т}} = \frac{H_{н}}{H_{н} + \sum h}$$

где  $H_{н}$  – действительный напор, передаваемый насосом жидкости;

$H_{т}$  – теоретический напор насоса;

$\sum h$  – суммарные потери напора на движение жидкости внутри насоса.

**Объемные потери** – это потери на утечки и циркуляцию жидкости через зазоры внутри гидромашины из области высокого давления в область низкого, оцениваются

**объемным КПД  $\eta_o$** .

Объемный КПД насоса

$$\eta_o = \frac{Q_H}{Q_T} = \frac{Q_H}{Q_H + q_{ут}} = \frac{Q_H - q_{ут}}{Q_T} = 1 - \frac{q_{ут}}{Q_T},$$

где  $Q_H$  – действительная подача насоса, поступающая в гидросистему;

$Q_T$  – теоретическая подача насоса;

$q_{ут}$  – суммарная утечка жидкости через зазоры внутри насоса из области нагнетания в область всасывания.

**Механические потери** – это потери на механическое трение в подшипниках и уплотнениях гидромашины, оцениваются

**механическим КПД  $\eta_m$** .

Механический КПД насоса

$$\eta_m = \frac{N - \Delta N_{тр}}{N} = \frac{N_T}{N}$$

где  $\Delta N_{тр}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения, возникающих в подшипниках и уплотнениях насоса;

$N_T$  – **гидравлическая (теоретическая) мощность насоса** – это та мощность, которую насос передал бы жидкости, если бы не было объемных и гидравлических потерь.

$$N_{\Gamma} = N - \Delta N_{\Gamma P} \quad \text{или}$$

$$N_{\Gamma} = H_{\Gamma} \rho g Q_{\Gamma} = (H_{\text{H}} + \sum h) \rho g (Q_{\text{H}} + q_{\text{ут}})$$

Полный КПД насоса  $\eta_{\text{H}}$

$$\eta_{\text{H}} = \frac{H_{\text{H}} \rho g Q_{\text{H}}}{N}$$

Умножим числитель и знаменатель на гидравлическую мощность  $N_{\Gamma}$

$$\eta_{\text{H}} = \frac{H_{\text{H}} \rho g Q_{\text{H}} N_{\Gamma}}{N (H_{\text{H}} + \sum h) \rho g (Q_{\text{H}} + q_{\text{ут}})}$$

После сокращения и перегруппировки множителей

$$\eta_{\text{H}} = \underbrace{\frac{H_{\text{H}}}{H_{\text{H}} + \sum h}}_{\text{Гидравлический КПД насоса}} \cdot \underbrace{\frac{Q_{\text{H}}}{Q_{\text{H}} + q_{\text{ут}}}}_{\text{Объемный КПД насоса}} \cdot \underbrace{\frac{N_{\Gamma}}{N}}_{\text{Механический КПД насоса}}$$

Тогда

$$\eta_{\text{H}} = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{O}} \cdot \eta_{\text{M}}$$

Такой же результат получается и для гидродвигателя

### 3. ОБЪЕМНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Рабочей камерой гидрообъемного насоса называется замкнутый объем, попеременно сообщаящийся с входом и выходом насоса.

Недостаток объемных насосов – это неравномерность подачи.

Рабочим объемом насоса  $W_o$  называют разность между наибольшим и наименьшим значением объема рабочей камеры.

$$W_o = W_k \cdot z \cdot k$$

где  $W_k$  – объем рабочей камеры  
 $z$  – число рабочих камер  
 $k$  – кратность работы насоса

*Классификация по типу движения вытеснителей*



### 3.1. Возвратно-поступательные насосы

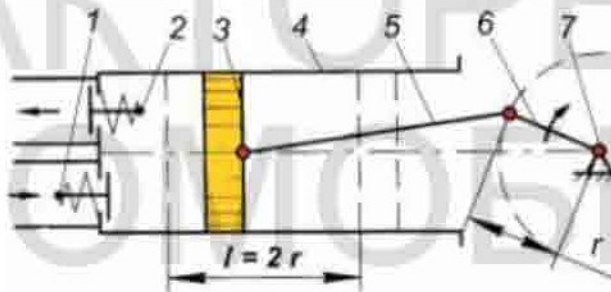
В возвратно-поступательных насосах силовое взаимодействие рабочего органа с жидкостью происходит в неподвижных рабочих камерах, которые попеременно сообщаются с полостями всасывания и нагнетания за счет впускного и выпускного клапанов.

По способу привода вытеснителя делятся на:

- *прямодействующие;*
- *вальные.*

$$\text{Рабочий объем} \quad W_0 = W_k = S_{II} \cdot 2r$$

Скоростные показатели возвратно-поступательных насосов ограничиваются инерционностью клапанов, до 200.. 300 *цикл/мин.*



Насосы с поршнем могут создавать давления 1... 50 МПа

В поршневых насосах присутствуют все три вида потерь:

- гидравлический КПД  $\eta_{Г} = 0,8...0,9$ ;
- объемный КПД  $\eta_{o} = 0,85...0,98$ ;
- механический КПД  $\eta_{М} = 0,94...0,96$ ;
- полный КПД насоса  $\eta_{Н} = 0,85...0,92$ .

### 3.2. Шестеренные и пластинчатые роторные насосы

Отсутствие клапанов позволяет получить существенные отличия роторных насосов от возвратно-поступательных:

- *быстроходность*, до 2000.. 3000 *цикл/мин* ;
- *обратимость*;
- *равномерность подачи*.

Отсутствие клапанов привело к значительному уменьшению гидравлических потерь.

Гидравлический КПД  $\eta_T = 1$ ;

Полный КПД роторного насоса  $\eta_H = \eta_o \cdot \eta_m$

**Шестеренный насос** – это зубчатый насос с рабочими органами в виде шестерен, обеспечивающих геометрическое замыкание рабочих камер и передачу крутящего момента с ведущего вала на ведомый.

Шестеренные насосы могут быть с **внешним** и **внутренним** зацеплением.

Объемный КПД  $\eta_o = 0,85 \dots 0,95$

Полный КПД  $\eta_H = 0,75 \dots 0,85$

Насосы без уплотнений с низким давлением (1...10 МПа) используются в гидросистемах поршневых двигателей.

Насосы с уплотнениями и высоким давлением (до 15...25 МПа) используются для гидросистемах тракторов, дорожно-строительных и сельскохозяйственных машин.

Рабочий объем шестеренного насоса  $W_0$

$$W_0 = \pi \cdot D \cdot b \cdot h ,$$

где  $D$  и  $b$  – диаметр начальной окружности и ширина шестерен;

$h$  – высота зубьев (глубина впадин).

$$h = 2m \quad D = m \cdot z$$

где  $m$  – модуль зацепления

Тогда 
$$W_0 = 2\pi \cdot z \cdot b \cdot m^2$$

Для эвольвентного зацепления со смещением  
исходного контура  $D = m \cdot (z + 1)$

$$W_0 = 2\pi \cdot (z + 1) \cdot b \cdot m^2$$

На практике применяют насосы с  $z = 8 \dots 18$

**Пластинчатый насос** – это роторно-поступательный насос с рабочими органами (вытеснителями) в виде плоских пластин.

Пластинчатые насосы могут быть однократного, двукратного и многократного действия.

Объемный КПД  $\eta_o = 0,7 \dots 0,92$

Полный КПД  $\eta_H = 0,6 \dots 0,83$

Максимальное давление –  $9 \dots 14$  МПа

Используются в системах гидросилителей  
рулевого управления и других системах.

### 3.3. Роторно-поршневые насосы

**Роторно-поршневой насос** – это роторный насос с рабочими органами (вытеснителями) в виде поршней или плунжеров.

Роторно-поршневые насосы подразделяются на:

- **радиально-поршневые** (возвратно-поступательное движение поршней происходит в радиальном направлении);
- **аксиально-поршневые** (возвратно-поступательное движение поршней параллельно оси вращения вала насоса).

**Аксиально-поршневые** насосы выполняются с наклонным диском (шайбой) и с наклонным блоком относительно оси вращения насоса.

Объемный КПД  $\eta_o = 0,95 \dots 0,98$

Полный КПД  $\eta_n = 0,9 \dots 0,92$

Максимальное давление – 35...50 МПа

Рабочий объем насоса с наклонным диском (шайбой)  $W_{0д}$

$$W_{0д} = S_{II} \cdot D \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

Рабочий объем насоса с наклонным блоком  $W_{0б}$

$$W_{0б} = S_{II} \cdot D \cdot \sin \gamma$$

где  $\gamma$  – угол наклона диска или блока;

$D$  – диаметр.



Часто на практике необходимо изменять подачу в широком диапазоне без значительного повышения давления, т.е. **регулировать** подачу.

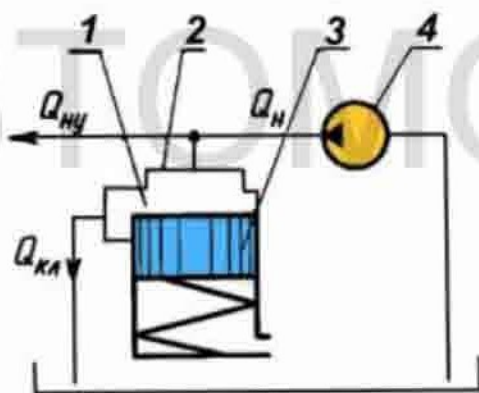
Для этого необходимо “сломать” линию **AB** в какой-то точке **C**, получив линию 3.

Характеристика **ACD** может быть получена только с помощью дополнительных устройств и поэтому является характеристикой не насоса, а насосной установки.

Регуляторную ветвь получают двумя способами:

- с помощью переливных клапанов;
- с помощью регуляторов подачи.

*Способ регулирования подачи с помощью переливного клапана*



*Клапан закрыт – линия AC.*

*При расчетном давлении  $p_p$  клапан начнет открываться (точка C)*

*Линия CD – зона регулирования*

*$Q_{нч}$  – подача насосной установки*

*$Q_{сл}$  – на слив в бак*

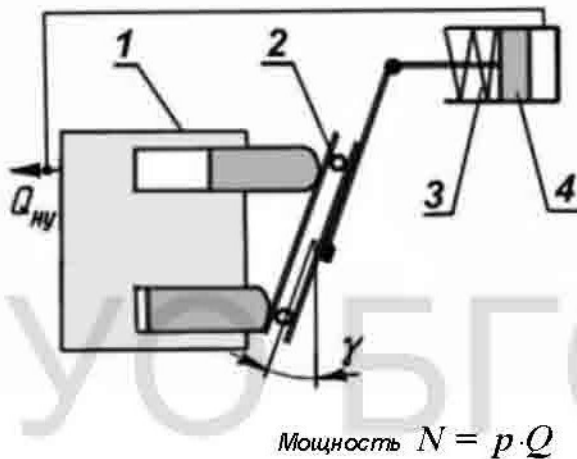
*$Q_{нч} = Q_n - Q_{сл}$  (точка R)*

*При  $p = p_{max}$  подача  $Q_{нч} = 0$  (точка D)*

$$\text{Мощность } N = p \cdot Q$$

*1 – регулирующий зазор; 2 – переливной клапан; 3 – подпружиненный поршень; 4 – насос.*

## Способы регулирования подачи с помощью регулятора подачи



$\gamma_{max}$  – линия AC.

При **расчетном** давлении  $p_p$  поршень начнет перемещаться (точка C)

Линия CD – зона регулирования

$0 < \gamma < \gamma_{max}$

$0 < Q < Q_{max}$   
(точка R)

При  $p = p_{max}$

подача  $Q_{ny} = 0$  и  $\gamma = 0$   
(точка D)

1 – аксиально-поршневой насос; 2 – наклонный диск; 3 – регулятор подачи; 4 – пружиненный поршень.

Аналитическая зависимость регуляторной ветви (линия 3)

$$Q_{ny} = Q_p - K_p \cdot (p - p_p)$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий наклон линии AD на графике. (зависит от жесткости пружины регулятора или переливного клапана и может быть вычислен при известных параметрах ( $p_{max}$ ,  $Q_p$  и  $p_p$ )).

Крутящий момент на валу насоса  $M$

$$M = \frac{1}{2\pi} \cdot W_o \cdot p \cdot \frac{1}{\eta_m}$$

**Параметр регулирования**  $e$  используется при анализе изменения рабочего объема насоса

$$e = W / W_0$$

где  $W$  – текущий рабочий объем насоса,

$W_0$  – максимальный рабочий объем насоса.

Тогда

$$Q = Q_T \cdot \eta_o = W_0 \cdot e \cdot n \cdot \eta_o,$$

$$M = \frac{1}{2\pi} \cdot W_0 \cdot e \cdot p \cdot \frac{1}{\eta_M}.$$

## 5. Объемные гидравлические двигатели и гидроаккумуляторы

По характеру движения выходного звена объемные гидродвигатели делят две группы:

- *гидравлические цилиндры* (гидроцилиндры);
- *гидравлические моторы* (гидромоторы).

**Гидравлическим цилиндром** называется объемный гидродвигатель с возвратно-поступательным движением выходного звена.

Механический КПД  $\eta_M = 0,85 \dots 0,95$

Гидравлический КПД  $\eta_G = 1$

Объемный КПД  $\eta_o = 1$

Полный КПД  $\eta_H = 0,98 \dots 1$

По конструкции и принципу действия гидроцилиндры классифицируются в соответствии с ГОСТ 17752-81.

По направлению действия рабочей жидкости гидроцилиндры делят на:

- одностороннего действия;
- двухстороннего действия.

По конструкции рабочего органа:

- с рабочим органом в виде поршня;
- с рабочим органом в виде плунжера (только односторонние).

По характеру хода выходного звена:

- одноступенчатые;
- телескопические (многоступенчатые).

Сила на штоке  $F = p \cdot S \cdot \eta_M$ ,

где  $S$  – активная площадь ( $S = S_{II}$  или  $S = S_{II} - S_{III}$ )

Взаимосвязь расхода и скорости поршня

$$Q = V_{II} \cdot S_{II} \cdot \eta_o \quad \text{или} \quad Q = V_{II} \cdot (S_{II} - S_{III}) \cdot \eta_o$$

При проведении расчетов следует учитывать расходы в штоковой и бесштоковой полости гидроцилиндра

$$Q / Q' = S_{II} / (S_{II} - S_{III})$$

**Гидромотором** называется объемный гидравлический двигатель с вращательным движением выходного звена.

Широко используются роторно-поршневые гидромоторы.

Аксиально-поршневые применяются для получения на выходе высоких скоростей вращения,

радиально-поршневые – для получения низких скоростей вращения (самоходные с.-х. машины).

Гидравлический КПД  $\eta_{\Gamma} = 1$

Полный КПД  $\eta_{\text{H}} = \eta_{\text{M}} \cdot \eta_{\text{O}}$

Значения  $\eta_{\text{H}}, \eta_{\text{M}}, \eta_{\text{O}}$  такие же как и для насосов

**Момент** на валу гидромотора

$$M = \frac{1}{2\pi} \cdot W_{\text{O}} \cdot p \cdot \eta_{\text{M}}$$

Перепад давлений в напорном и сливном трубопроводах

$$p = p_1 - p_2$$

Расход  $Q = W_{\text{O}} \cdot n \cdot \frac{1}{\eta_{\text{O}}}$

**Гидроаккумулятор** – это устройство, предназначенное для аккумулирования энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением, с целью последующего возврата ее в гидросистему.

В зависимости от типа реализуемой механической энергии гидроаккумуляторы различают:

- грузовые гидроаккумуляторы;
- гидроаккумуляторы с упругим корпусом;
- пружинные гидроаккумуляторы;
- пневмогидроаккумуляторы.

Пневмогидроаккумуляторы бывают:

- без разделителя сред;
- с разделителем сред.

Пневмогидроаккумуляторы с разделителем сред:

- поршневые;
- мембранные;
- баллонные.

Расчет пневмогидроаккумулятора включает определение его общего (конструктивного) объема  $W_k$ , давления зарядки газом  $P_{зар}$  и расчет на прочность корпуса.

Под **давлением зарядки** газом  $P_{зар}$  понимается давление газа внутри пневмогидроаккумулятора, когда в нем отсутствует жидкость (всю полость  $W_k$  занимает сжатый газ).



# ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ. НЕРЕГУЛИРУЕМЫЕ И РЕГУЛИРУЕМЫЕ ОБЪЕМНЫЕ ГИДРОПРИВОДЫ

## 1. Основные термины, определения и параметры

По характеру выполнения функций гидроаппараты делятся на регулирующие и направляющие.

**Регулирующий** гидроаппарат – в котором изменение соответствующего параметра потока рабочей жидкости происходит за счет частичного открытия или перекрытия проходного сечения в нем.

**Направляющий** гидроаппарат – который изменяет направление потока рабочей жидкости путем полного открытия или полного перекрытия проходного сечения в нем.

**Площадь проходного сечения** гидроаппарата – это минимальное значение площади живого сечения потока в нем.

**Запорно-регулирующий элемент** (основной элемент гидроаппарата) – деталь или группа деталей, при перемещении которых частично или полностью перекрывается проходное сечение.

По конструкции запорно-регулирующего элемента гидроаппараты делятся на:

- **золотниковые** (запорно-регулирующим элементом является цилиндрический или плоский золотник);
- **крановые** (запорно-регулирующим элементом является плоский, цилиндрический, конический или сферический кран);
- **клапанные** (запорно-регулирующим элементом является шариковый, конусный, игольчатый или плоский (тарельчатый) клапан);

По способу перенастройки гидроаппараты делятся:

- **регулируемые** – в котором величина открытия проходного сечения или силовое воздействие на запорно-регулирующий элемент могут быть изменены по сигналу извне во время работы гидросистемы;
- **настраиваемые** – характеристики которого могут быть изменены только в условиях выключенной гидросистемы (часто при этом бывает необходима разборка гидроаппарата или гидросистемы).

По способу подключения гидроаппараты делятся:

- **трубного** присоединения – соединяются с другими устройствами при помощи трубопроводов и рукавов;
- **стыкового** присоединения – соединяются с другими устройствами при помощи каналов, выведенных на наружную плоскость;
- **модульного** исполнения – соединяются с другими устройствами при помощи вертикальных каналов, выведенных на две параллельные наружные плоскости с одинаковыми координатами присоединительных отверстий;
- **встраиваемые** – монтируют в специальных монтажных гнездах гидравлических блоков (не имеют корпусов).

К основным параметрам гидроаппаратов относятся:

- **условный проход**  $D_y$  – диаметр условного отверстия, площадь которого равна максимальному значению проходного сечения;
- **номинальное давление**  $P_{ном}$  – наибольшее избыточное давление рабочей жидкости, поступающей на вход;  
(при этом давлении гидроаппарат должен работать в течение установленного ресурса с сохранением параметров в пределах установленных норм)
- **номинальный расход жидкости**  $Q_{ном}$  – расход жидкости с определенной вязкостью, проходящий через гидроаппарат.  
(при этом расходе гидроаппарат выполняет свое назначение с сохранением параметров в пределах установленных норм)

Последовательность значений условного прохода  $D_y$  регламентирует ГОСТ 16516-80. Типоразмерные ряды всех гидроаппаратов строятся по их условным проходам.

Ряды номинальных расходов жидкости  $Q_{ном}$  для гидроаппаратов устанавливает ГОСТ 13825-80.

Все гидроаппараты, которые используются в объемных гидроприводах, делят на три основные класса:

- *гидродроссели;*
- *гидроклапаны;*
- *гидрораспределители.*

## 2. Гидродроссели

**Гидродроссель** – это регулирующий гидроаппарат, предназначенный для получения заданной величины расхода при данной величине перепада давления в подводимом и отводимом потоках рабочей жидкости.

**Характеристика гидродросселя** – это зависимость потерь давления  $\Delta p_{др}$  (перепад давления на гидродросселе) от расхода  $Q$  рабочей жидкости.

Различают следующие характеристики гидродросселя:

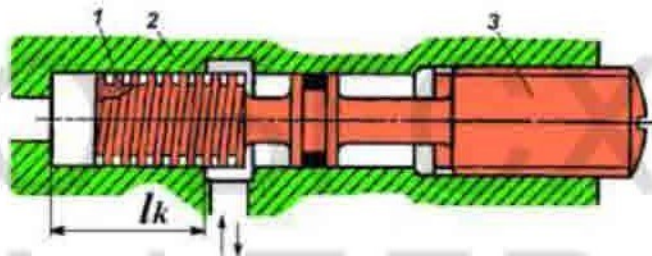
- *линейные* – имеют линейную характеристику

$$\Delta p_{др} = K \cdot Q;$$

- *квадратичные* – имеют квадратичную характеристику

$$\Delta p_{др} = K \cdot Q^2$$

### Линейный регулируемый винтовой гидродроссель



Недостаток линейных гидродросселей – нестабильность их характеристики (зависимость крутизны их характеристики от температуры рабочей жидкости (от ее вязкости)).

$$Q = \mu S_0 \sqrt{\frac{2\Delta p_{др}}{\rho}}$$

Отсюда характеристика квадратичного нерегулируемого (настраиваемого) гидродросселя

$$\Delta p_{др} = \frac{\rho}{2\mu^2 S_0^2} Q^2$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода, для минеральных масел в области квадратичного сопротивления его можно принимать равным  $\mu = 0,65$  ;

$S_0$  – площадь проходного сечения отверстия в гидродросселе.

### Пакетный (пластинчатый) гидродроссель

$$Q = k\mu \frac{\pi d_d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p_{др}}{\rho n}}$$

где  $n$  – число шайб в пакете;

$\mu$  – коэффициент расхода дросселирующей шайбы со смещенным отверстием,  $\mu = 0,78$ ;

$k$  – коэффициент взаимовлияния дросселирующих отверстий в соседних шайбах,  $k = 1,25$ ;

$d_d$  – диаметр отверстия в шайбе,  $0,5 \text{ мм} < d_d < 1,5 \text{ мм}$ .

**Регулируемым** называется гидродроссель, в котором площадь его проходного сечения можно изменять путем воздействия на его запорно-регулирующий элемент из вне.

К регулируемым относятся крановые, золотниковые, клапанные (игольчатые) гидродроссели, гидродроссель типа «сопло-заслонка» и др.

---

**Регулируемые квадратичные гидродроссели**

### 3. Гидроклапаны

**Гидроклапан** – это гидроаппарат, в котором величина открытия рабочего проходного сечения (положение запорно-регулирующего элемента) изменяется под воздействием потока рабочей жидкости.

Существуют *регулирующие* и *направляющие* гидроклапаны.

#### Классификация гидроклапанов



## Регулирующие гидроклапаны

**Гидроклапан давления** – это регулирующий гидроклапан, предназначенный для регулирования давления в потоке рабочей жидкости.

По характеру воздействия потока рабочей жидкости на запорно-регулирующий элемент гидроклапаны давления бывают *прямого* и *непрямого* действия.

**Напорным** гидроклапаном называется гидроклапан давления, предназначенный для ограничения давления в подводимом потоке рабочей жидкости:

- предохранительный;
- переливной.

**Предохранительным** гидроклапаном называется напорный гидроклапан, предназначенный для предохранения элементов гидросистемы от давления, превышающего допустимое.

Давление срабатывания предохранительного гидроклапана  $P_k$

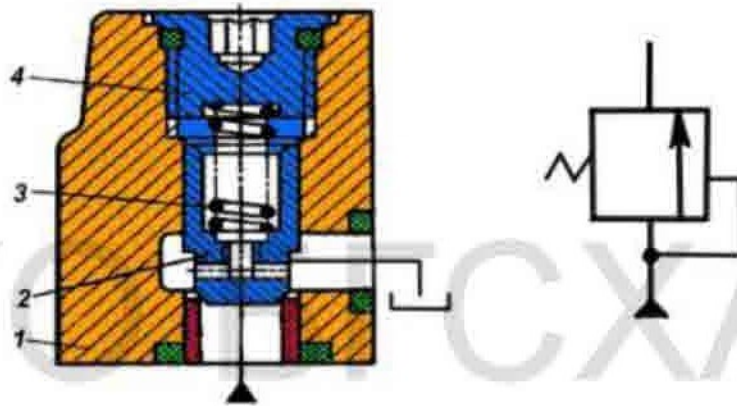
$$P_k = \frac{4F_{пр}}{\pi D_y^2} + P_{сл}$$

где  $F_{пр}$  – сила предварительного поджатия пружины;

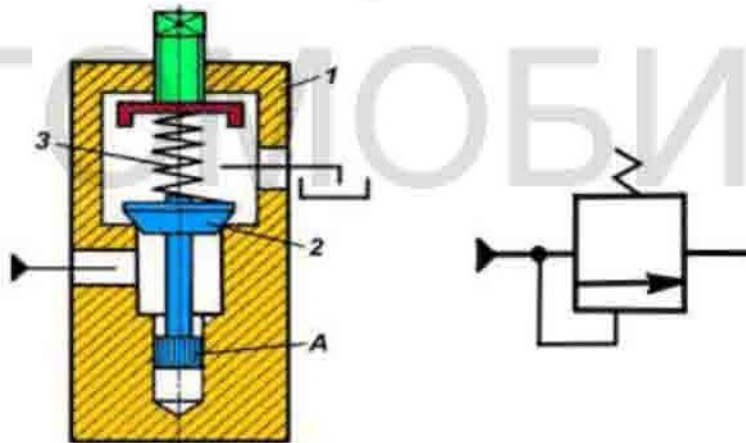
$D_y$  – условный проход, равен диаметру отверстия седла клапана;

$P_{сл}$  – давление в сливной гидролинии.

*Предохранительный клапан прямого действия*



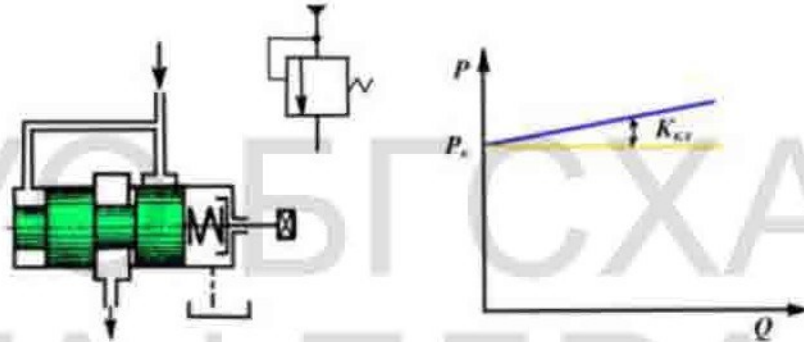
*Предохранительный клапан прямого действия с демпфирующим устройством*



**A** – цилиндрический демпфирующий пояс

**Переливной** – это напорный гидроклапан, предназначенный для поддержания заданного уровня давления на входе в клапан с заданной точностью путем непрерывного слива части потока рабочей жидкости.

В переливном клапане используются золотниковые запорно-регулирующие элементы.



*Характеристика переливного клапана прямого действия*

Аналитическое выражение характеристики переливного клапана

$$P = P_K + K_{кл} \cdot Q$$

где  $P$  – контролируемое давление;

$P_K$  – давление настройки переливного клапана;

$Q$  – расход рабочей жидкости, сливающийся через клапан в бак;

$K_{кл}$  – коэффициент, определяющий угол наклона характеристики переливного клапана, величина которого характеризует степень нестабильности регулируемого давления в функции расхода жидкости через клапан.

$$K_{\text{кл}} = \frac{4C_{\text{пр}}\sqrt{\rho}}{\mu\pi^2d_{\text{к}}^3\sqrt{2p_{\text{к}}}}$$

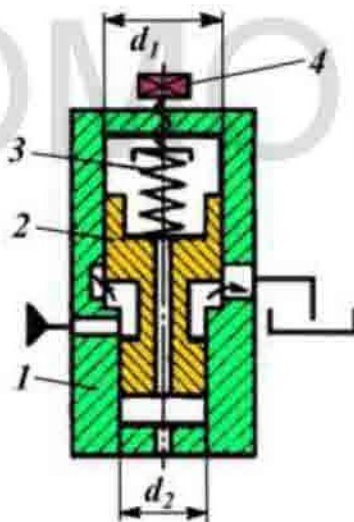
где  $d_{\text{к}}$  – диаметр золотника;

$C_{\text{пр}}$  – жесткость пружины;

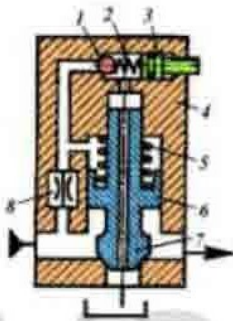
$\mu$  – коэффициент расхода проходного сечения клапана;

$\rho$  – плотность рабочей жидкости.

*Переливной клапан прямого действия с дифференциальным запорно-регулирующим элементом*

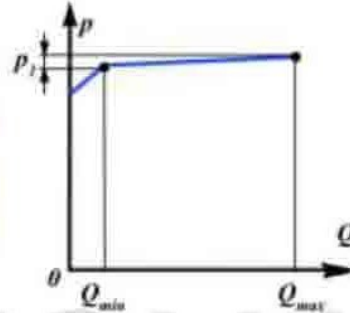
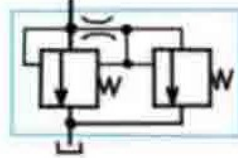


### Переливной клапан непрямого действия



1 – шарик; 2 – пружина;  
3 – регулировочный винт;  
4 – корпус; 5 – пружина;  
6 – поршень; 7 – запорно-регулирующий элемент.

*Используется в золотниковых распределителях с.-х. техники*



*Характеристика переливного клапана непрямого действия*

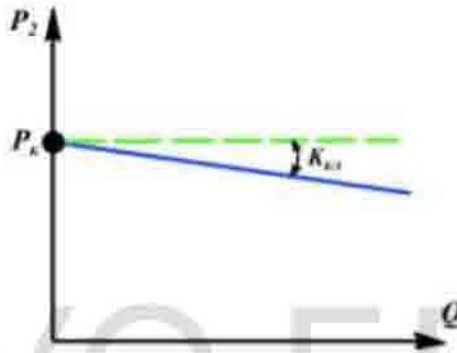
**Редукционным** называется регулирующий гидроклапан, предназначенный для поддержания в отводимом потоке постоянного давления  $P_2$  меньшего, чем давление  $P_1$  в подводимом потоке.

Применяется в гидросистемах, где от одного насоса работают несколько потребителей, требующие разные уровни давлений питания.

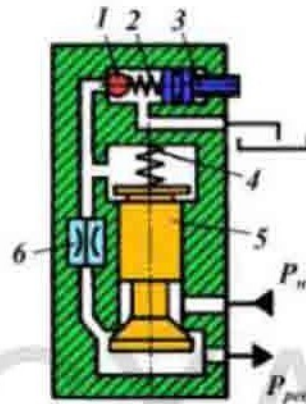
Аналитическое выражение характеристики редуционного клапана

$$P = P_k - K_{кл} \cdot Q$$



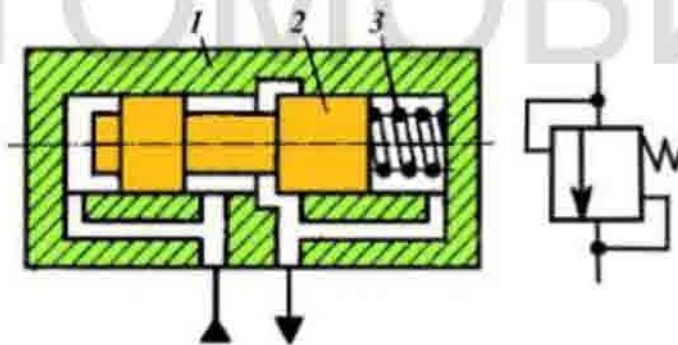


*Характеристика редуцирующего клапана прямого действия*

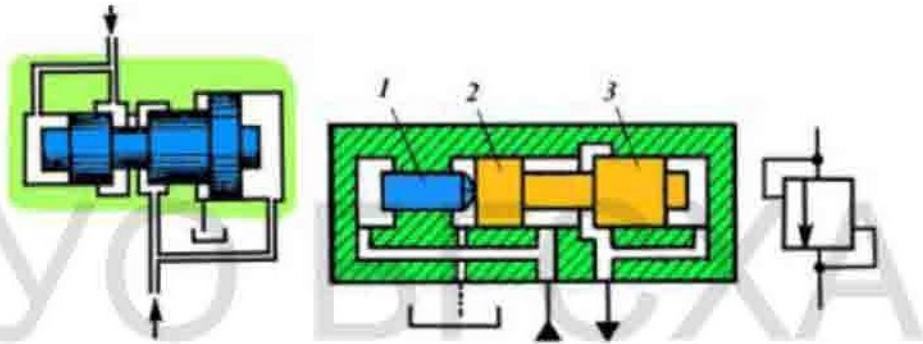


*Редуцирующий клапан непрямого действия*

**Гидроклапан разности (перепада) давлений** предназначен для поддержания заданной разности давлений в подводимом и отводимом потоках рабочей жидкости или в одном из этих потоков и постороннем потоке.



**Гидроклапан соотношения давлений** предназначен для поддержания заданного соотношения давлений в подводимом и отводимом потоках рабочей жидкости или в одном из этих потоков и постороннем потоке



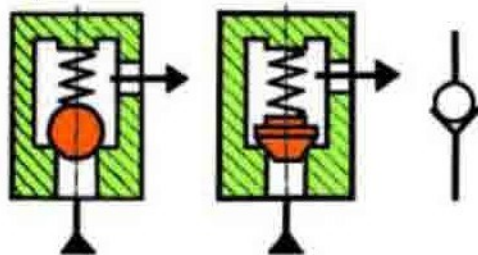
**Гидроклапан соотношения давлений со ступенчатым золотником**

**Гидроклапан соотношения давлений с толкателем**

### Направляющие гидроклапаны

К направляющим гидроклапанам относятся обратные гидроклапаны, гидрозамки, гидроклапаны последовательности, реле давления и гидроклапаны выдержки времени.

**Обратный** — это направляющий гидроклапан, предназначенный для пропускания рабочей жидкости только в одном направлении.



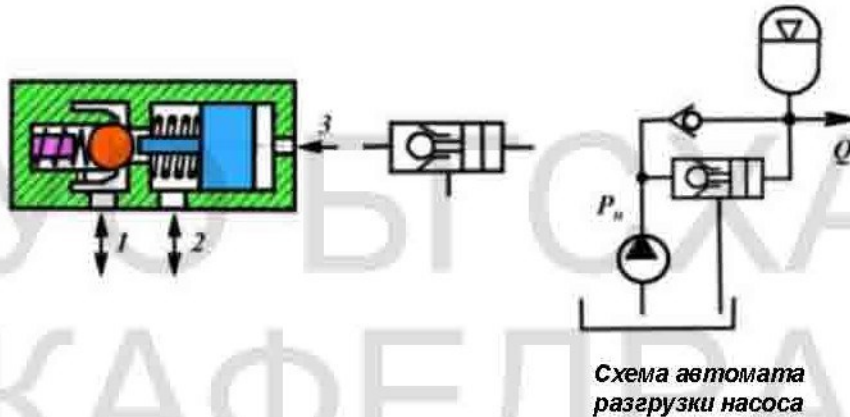
Перепад давления  
0,01 – 0,03 МПа

**Шариковый запорный элемент**

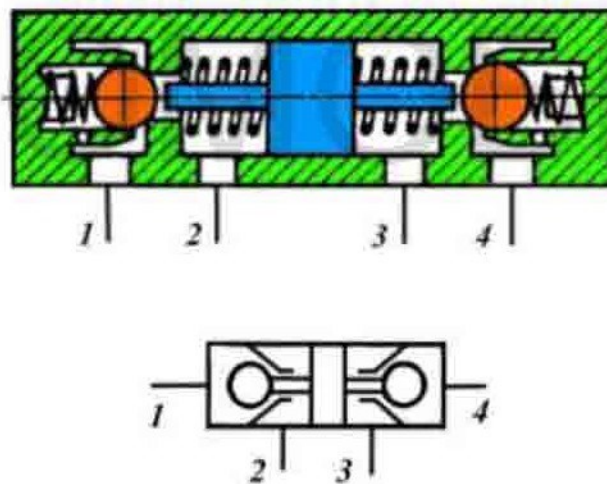
**Конусный запорный элемент**

**Гидрозамок** – это направляющий гидроклапан, предназначенный для пропускания потока жидкости в одном направлении при отсутствии управляющего воздействия и в обоих направлениях при наличии управляющего воздействия

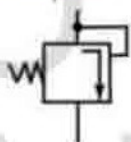
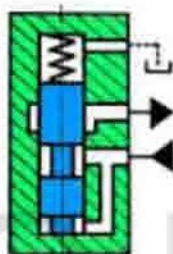
**Односторонний гидрозамок**



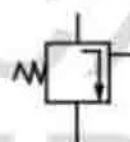
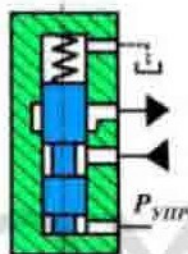
**Двухсторонний гидрозамок**



**Гидроклапан последовательности** предназначен для пропускания или остановки потока рабочей жидкости при достижении заданной величины давления в этом потоке или в некотором постороннем потоке.



**С управлением от давления в подводимом потоке**

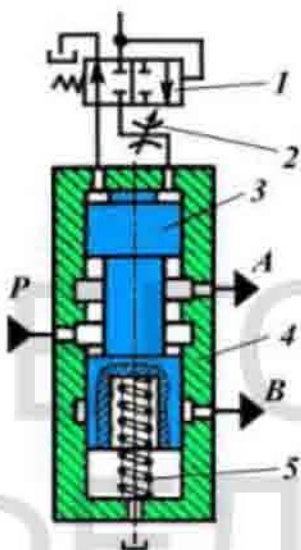


**С управлением от давления в постороннем потоке**

**Гидроклапан выдержки времени** предназначен для пропускания или остановки потока рабочей жидкости в отводимой гидролинии через определенный промежуток времени после подачи управляющего сигнала.

Применяется когда необходимо осуществить выдержку по времени между двумя следующими одно за другим движениями выходных звеньев исполнительных гидродвигателей.

*Гидроклапан выдержки времени с управлением от давления в постороннем потоке*



#### **4. Направляющие гидрораспределители**

**Гидрораспределителем** называется гидроаппарат, предназначенный для изменения направления потока рабочей жидкости в двух или более гидролиниях в зависимости от внешнего управляющего воздействия.

Гидрораспределители бывают направляющими и дросселирующими.

**Направляющий гидрораспределитель** предназначен для пуска, остановки или изменения направления потока рабочей жидкости в двух или более гидролиниях в зависимости от наличия внешнего управляющего воздействия.

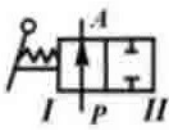
Гидрораспределители классифицируются:

- по конструкции запорно-регулирующего элемента на золотниковые (с цилиндрическим или плоским золотником), крановые и клапанные;
- по числу внешних гидролиний на двухлинейные, трехлинейные, четырехлинейные и т. д.;
- по числу фиксированных позиций запорно-регулирующего элемента на двухпозиционные, трехпозиционные и т. д.;
- по виду управления на распределители с ручным, механическим, электрическим, гидравлическим и другими видами управления;
- по числу запорно-регулирующих элементов на одноступенчатые, двухступенчатые и т.д.

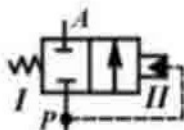
В условном обозначении гидрораспределителя указывают:

- позиции запорно-регулирующего элемента;
- внешние линии связи, подводимые к распределителю;
- проходы (каналы);
- элементы управления.

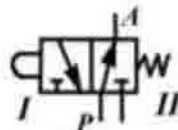
#### Условные обозначения направляющих гидрораспределителей



двухлинейный  
двухпозиционный  
(2/2)  
с ручным  
управлением



двухлинейный  
двухпозиционный  
(2/2)  
с гидравлическим  
управлением

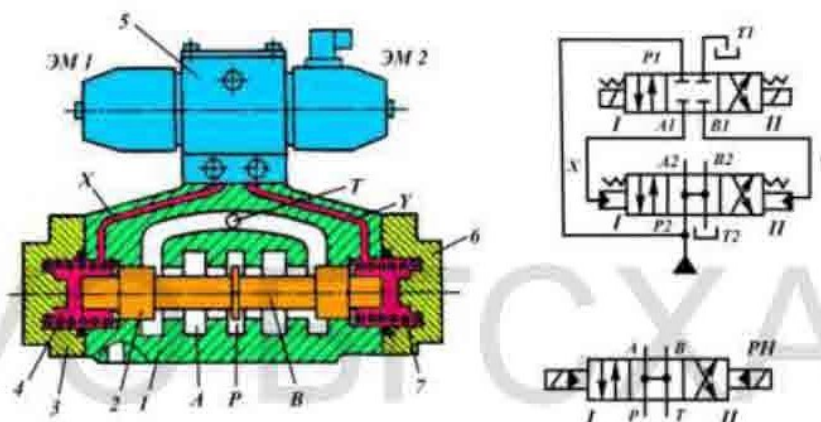


трехлинейный  
двухпозиционный  
(3/2)  
с управлением  
от кулачка



четыrehлинейный  
трехпозиционный  
(4/3)  
с управлением от  
электромагнитов  
(соленоидов)

*Двухступенчатый направляющий золотниковый гидрораспределитель с электрогидравлическим управлением*



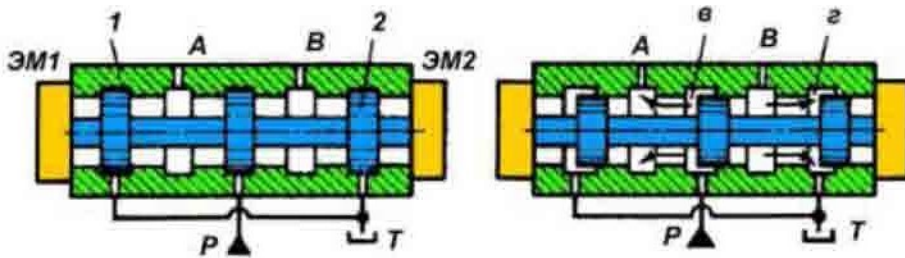
## **5. Дросселирующие гидрораспределители**

*Дросселирующим гидрораспределителем* называется регулирующий гидроаппарат, предназначенный для изменения величины расхода и направления движения потока рабочей жидкости в нескольких гидролиниях одновременно в соответствии с изменением величины внешнего управляющего воздействия.

Дросселирующие гидрораспределители бывают:

- золотниковые (чаще всего используются);
- струйные;
- гидрораспределители типа «сопло-заслонка».

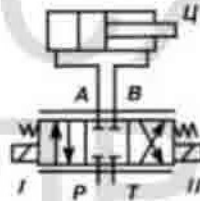
**Золотниковые дросселирующие гидрораспределители**



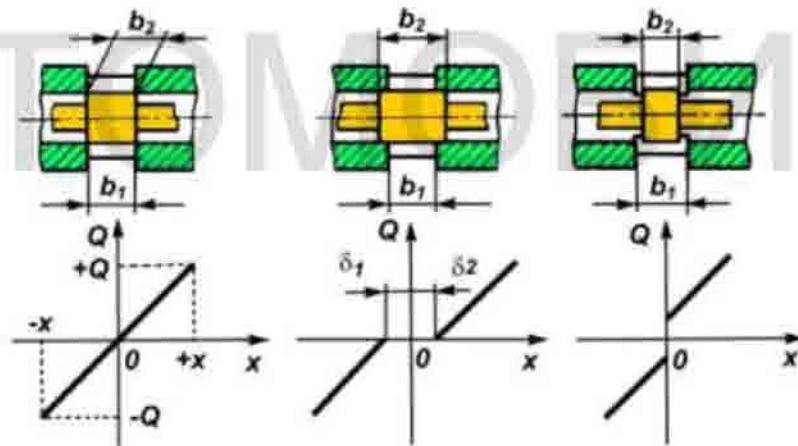
В исходной (нейтральной) позиции

В позиции I

Условное обозначение –



**Схемы дросселирующих гидрораспределителей и соответствующие им статические характеристики**



С нулевым перекрытием  
( $b_1 = b_2$ )

С положительным перекрытием  
( $b_1 > b_2$ )

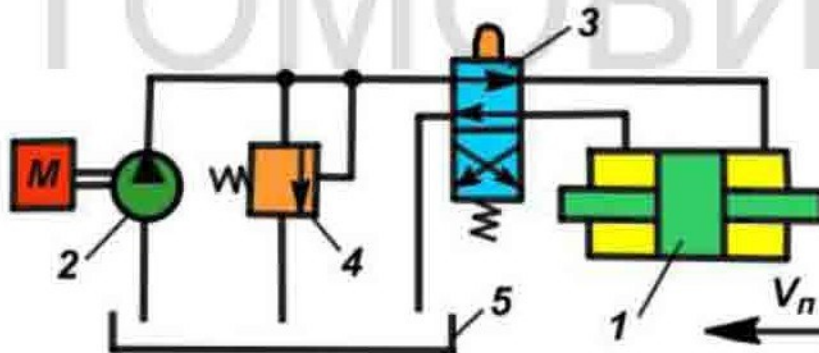
С отрицательным перекрытием  
( $b_1 < b_2$ )

## 5. Нерегулируемый объемный гидропривод. Способы регулирования объемных гидроприводов

*Нерегулируемый гидроприводом* называется гидропривод у которого возможно изменение только направления движения выходного звена при постоянной величине скорости.

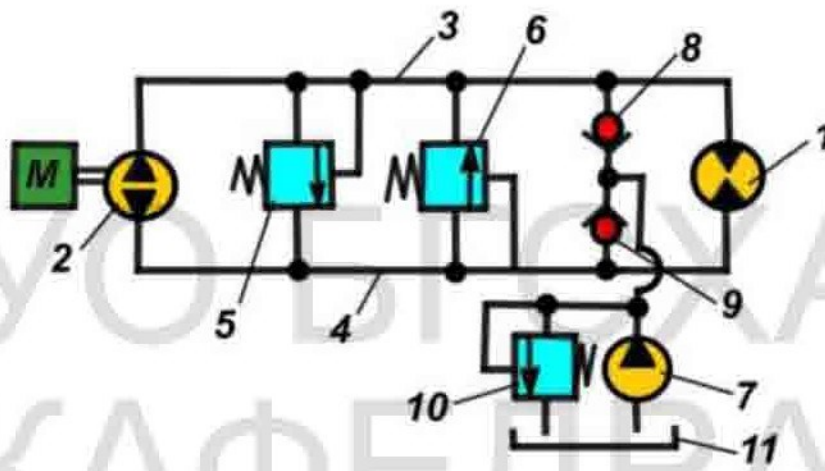
*Нерегулируемый гидропривод поступательного движения*

$$V_n = Q_n / S_n = const$$



*Нерегулируемый гидропривод вращательного движения*

$$n_{\Gamma} = Q_{\text{H}} / W_{\Gamma} = \text{const}$$



К регулируемым объемным гидроприводам относятся:

- гидроприводы, в которых имеется возможность регулирования скорости выходного звена (скорости движения поршня гидроцилиндра или частоты вращения вала гидромотора), в том числе:
- гидроприводы со стабилизацией скорости выходного звена;
- гидроприводы, в которых обеспечивается синхронизация движения выходных звеньев нескольких гидродвигателей;
- следящие гидроприводы.

Все способы регулирования скорости движения выходных звеньев объемных гидроприводов могут быть выполнены (без учета объемных потерь) на основании следующих формул:

$$V_{\Pi} = \frac{Q}{S_{\Pi}}, \quad n_{\Gamma} = \frac{Q}{W_{\Gamma}},$$

где  $V_{\Pi}$  или  $n_{\Gamma}$  – скорости выходного звена;  
 $Q$  – расход;  
 $W_{\Gamma}$  – рабочий объем;  
 $S_{\Pi}$  – площадь поршня.

Поступательного движения      Вращательного движения

Способы регулирования скорости движения выходных звеньев объемных гидроприводов:

- дроссельный;
- объемный (машинный);
- объемно-дроссельный.

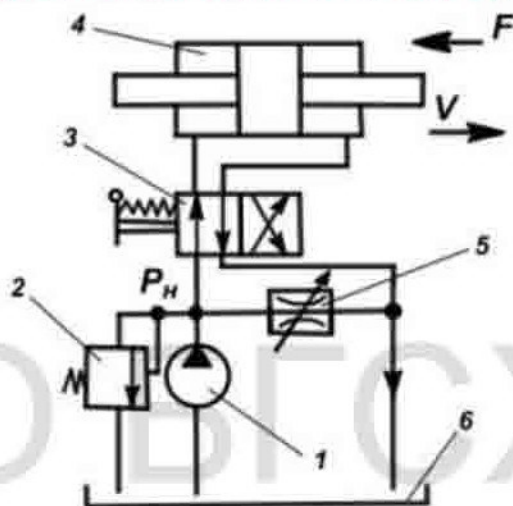
## 6. Гидропривод с дроссельным регулированием скорости

*Дроссельный способ регулирования скорости* используется, когда гидропривод содержит нерегулируемые гидромашины (за счет изменения величины расхода  $Q$ ).

В зависимости от места установки регулируемого гидродросселя гидроприводы различают;

- с параллельным включением гидродросселя;
- с последовательным включением гидродросселя.

*С параллельным включением гидродросселя*



*Гидропривод с дроссельным регулированием скорости при параллельном включении дросселя*

Расход  $Q_{\Gamma}$ , поступающий в гидроцилиндр

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{др}},$$

где  $Q_{\text{н}}$  – подача нерегулируемого насоса;

$Q_{\text{др}}$  – расход, сливающийся через регулируемый гидродроссель в бак.

$$Q_{\text{др}} = \mu S_{\text{др}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{\text{др}}},$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода гидродросселя;

$S_{\text{др}}$  – площадь проходного сечения гидродросселя;

$\rho$  – плотность рабочей жидкости;

$\Delta p_{\text{др}}$  – перепад давления на гидродросселе.

$$\Delta p_{др} = \frac{F}{S_{п}},$$

где  $F$  – внешняя преодолеваемая нагрузка на штоке гидроцилиндра,  
 $S_{п}$  – эффективная площадь поршня гидроцилиндра.

Скорость движения поршня гидроцилиндра

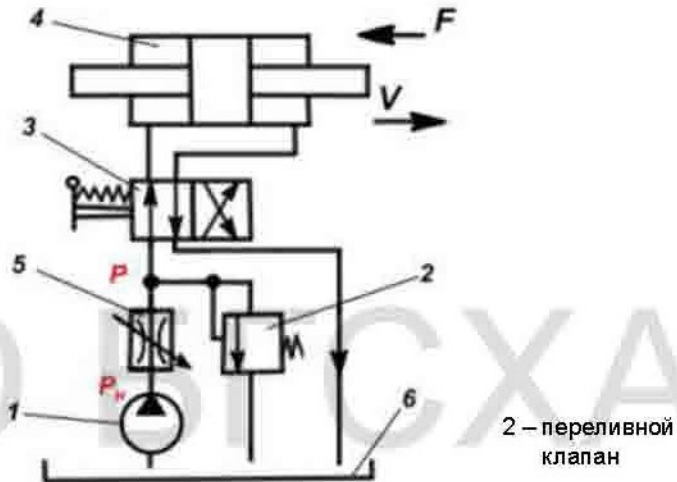
$$V = \frac{Q_{г}}{S_{п}} = \frac{1}{S_{п}} \left( Q_{н} - \mu S_{др} \sqrt{\frac{2 F}{\rho S_{п}}} \right)$$

### *Графические характеристики регулируемых гидроприводов*

**1. Регулировочная характеристика** – это графическая зависимость регулируемой величины от параметра регулирования (в данном случае  $V = f(S_{др})$ ) при постоянном значении внешней нагрузки.

**2. Нагрузочная (механическая) характеристика** – это графическая зависимость регулируемой величины (скорости) от величины внешней преодолеваемой нагрузки ( $V = f(F)$ ) при постоянном значении параметра регулирования.

*При последовательном включении дросселя*



*Гидропривод с дроссельным регулированием скорости при последовательном включении дросселя на входе в гидродвигатель*

Расход  $Q_{\Gamma}$ , поступающий в гидроцилиндр

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{др}} = \mu S_{\text{др}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{\text{др}}}$$

где  $\Delta p_{\text{др}}$  – перепад давления на гидродросселе

$$\Delta p_{\text{др}} = p_{\text{н}} - p = p_{\text{н}} - \frac{F}{S_{\text{н}}}$$

$p_{\text{н}}$  – давление на выходе насоса; поддерживается постоянным при помощи переливного клапана 2;

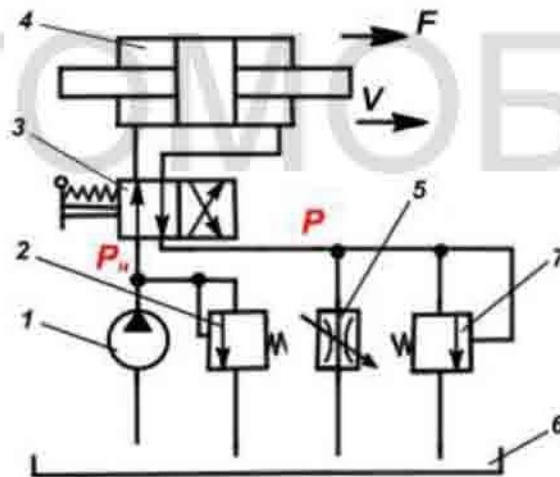
$p$  – давление в левой полости гидроцилиндра 4 (на выходе из регулируемого дросселя 5); определяется внешней нагрузкой  $F$  на штоке гидроцилиндра 4.

Скорость движения поршня гидроцилиндра

$$V = \frac{Q_{\Gamma}}{S_{\Pi}} = \mu \frac{S_{\text{др}}}{S_{\Pi}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left( P_{\text{н}} - \frac{F}{S_{\Pi}} \right)}$$

Построим регулировочную и механическую характеристики гидропривода, в соответствии с формулой.

*Гидропривод с дроссельным регулированием скорости при последовательном включении дросселя на выходе из гидродвигателя*



2 – переливной  
клапан;  
7 – предохранительный  
клапан

Расход  $Q_{\Gamma}$ , проходящий через гидроцилиндр

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{др}} = \mu S_{\text{др}} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{\text{др}}}$$

где  $\Delta p_{\text{др}}$  – перепад давления на гидродросселе

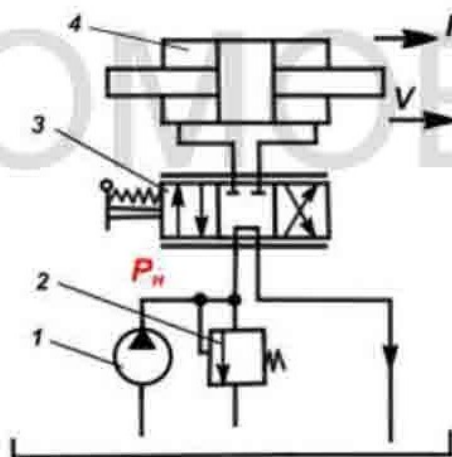
Уравнение равновесия поршня гидроцилиндра

$$p_{\text{н}} S_{\text{п}} = F + p S_{\text{п}}$$

Тогда

$$\Delta p_{\text{др}} = p = p_{\text{н}} - \frac{F}{S_{\text{п}}}$$

*Гидропривод с дроссельным регулированием скорости при использовании дросселирующего гидрораспределителя*



2 – переливной  
клапан

Дросселирующие окна в дросселирующем гидрораспределителе 3 создают одинаковое сопротивление потоку жидкости

$$\Delta p_{др1} = \Delta p_{др2} = \Delta p_{др}$$

Уравнение равновесия поршня гидроцилиндра

$$(p_n - \Delta p_{др}) S_{п} = F + \Delta p_{др} S_{п}$$

Получим

$$\Delta p_{др} = \frac{1}{2} \left( p_n - \frac{F}{S_{п}} \right)$$

Тогда

$$V = \frac{Q_{г}}{S_{п}} = \mu \frac{S_{др}}{S_{п}} \sqrt{\frac{1}{\rho} \left( p_n - \frac{F}{S_{п}} \right)}$$

При использовании дросселирующего гидрораспределителя при прочих равных условиях скорость поршня гидроцилиндра в  $\sqrt{2}$  раз меньше, чем при использовании одного гидродросселя.

При последовательном включении дросселя система регулирования скорости базируется на условии поддержания постоянного значения  $p_n$  на выходе нерегулируемого насоса за счет слива части его подачи переливным клапаном. Такие гидроприводы получили название "*гидроприводы с постоянным давлением питания*".

## 7. Способы стабилизации скорости в гидроприводах с дроссельным регулированием

Недостаток гидропривода с дроссельным регулированием – это зависимость скорости выходного звена от нагрузки на нем.

*Системы стабилизации скорости* обеспечивают повышение «жесткости» нагрузочной характеристики гидропривода.

«Жесткость» нагрузочной характеристики – это независимость скорости выходного звена от нагрузки на нем.

Система стабилизации состоит из *дроссельных регуляторов расхода* и обеспечивает независимость перепада давления  $\Delta p_{др}$  на регулируемом гидродросселе от нагрузки на выходном звене.

Используют два типа дроссельных регуляторов расхода:

- на основе переливного клапана,
- на основе редукционного клапана.

Уравнение равновесия запорно-регулирующего элемента **2** переливного клапана

$$p_{\text{н}}S = F_{\text{п}} + pS$$

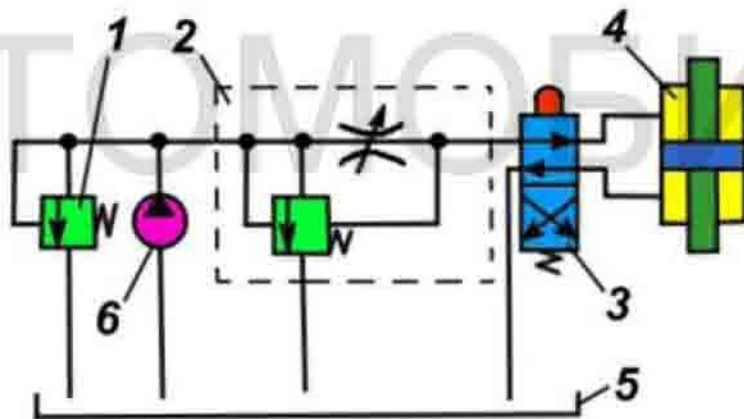
где  $F_{\text{п}}$  – сила предварительного поджатия пружины **3**;

$S$  – эффективная торцевая площадь запорно-регулирующего элемента **2**.

Так как максимальная величина перемещения запорно-регулирующего элемента **2** не превышает 1 мм, а жесткость пружины **3** минимальна, то можно записать:

$$\Delta p_{\text{др}} = p_{\text{н}} - p = \frac{F_{\text{п}}}{S} = \text{const}$$

*Гидропривод с дроссельными регуляторами расхода и переменным давлением питания*



1 – предохранительный клапан; 2 – дроссельный регулятор расхода на основе переливного клапана.

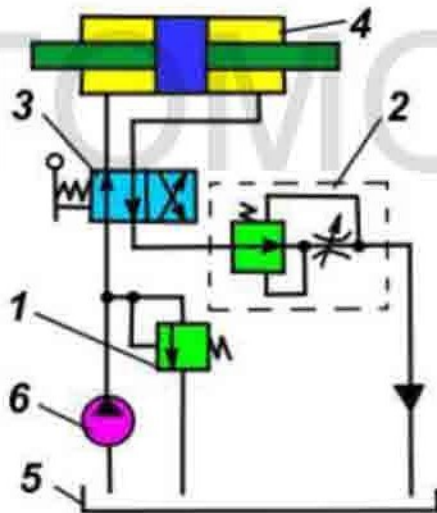
Уравнение равновесия запорно-регулирующего элемента **2** редуциционного клапана (давление  $p_H$  не создает усилия):

$$p_1 S = F_{\text{п}} + p_2 S$$

Так как максимальная величина перемещения запорно-регулирующего элемента **2** не превышает 1 мм, а жесткость пружины **3** минимальна, то можно записать:

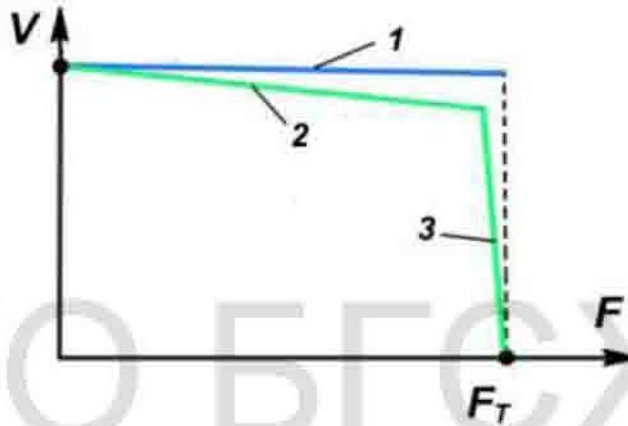
$$\Delta p_{\text{др}} = p_1 - p_2 = \frac{F_{\text{п}}}{S} = \text{const}$$

*Гидропривод с дроссельным регулятором расхода и постоянным давлением питания*



1 – переливной клапан;  
2 – дроссельный регулятор расхода на основе редуциционного клапана.

Нагрузочная характеристика гидропривода с системой стабилизации скорости

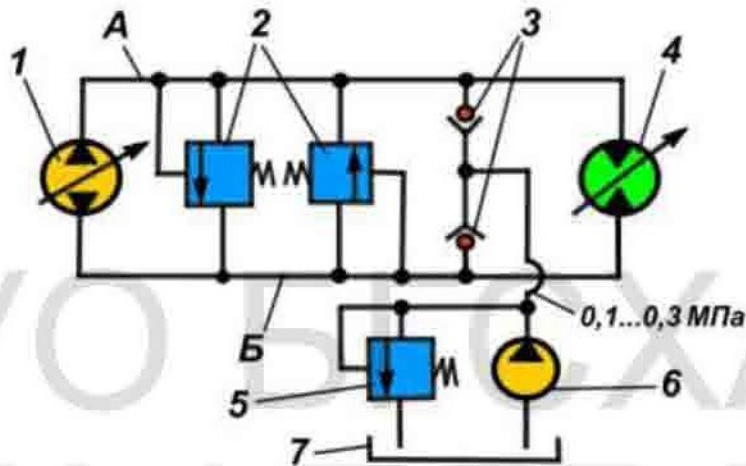


- 1 – идеальная нагрузочная характеристика;
- 2 – реальная характеристика ( без допущений: максимальная величина перемещения запорно-регулирующего элемента не превышает 1 мм, жесткость пружины минимальна);
- 3 – сработал предохранительный клапан.

## 8. Гидропривод с объемным регулированием скорости

При *объемном способе регулирования* скорость движения выходного звена гидропривода изменяется за счет изменения рабочего объема насоса (изменяется величина расхода  $Q$ , поступающего в гидродвигатель), либо гидромотора ( $W_T$ ), или за счет изменения рабочих объемов обеих гидромашин.

Гидропривод с объемным регулированием скорости



Параметр регулирования рабочего объема  $e$  (относительный рабочий объем) гидромашины

$$e_n = \frac{W_n}{W_{n \max}}, \quad e_r = \frac{W_r}{W_{r \max}}$$

где  $W$  – действительный рабочий объем

$$e = 0 \dots 1$$

При реверсе  $e = -1 \dots 1$

Расход  $Q_H$ , поступающий от насоса в напорную гидролинию

$$Q_H = W_H \cdot n_H = e_H \cdot W_{H \max} \cdot n_H$$

Расход  $Q_G$ , потребляемый гидромотором

$$Q_G = W_G \cdot n_G = e_G \cdot W_{G \max} \cdot n_G$$

где  $n_H$  – частота вращения вала насоса,

$n_G$  – частота вращения вала гидромотора.

При работе гидропривода без перегрузки (предохранительные клапаны закрыты):

$$Q_H = Q_G$$

Получим

$$n_G = \frac{e_H}{e_G} \cdot \frac{W_{H \max}}{W_{G \max}} \cdot n_H$$

Момент сопротивления  $M_G$

$$M_G = \frac{1}{2\pi} W_{G \max} e_{G \min} [\Delta p_G] \eta_{GM},$$

где  $\eta_{GM}$  – механический КПД гидромотора.

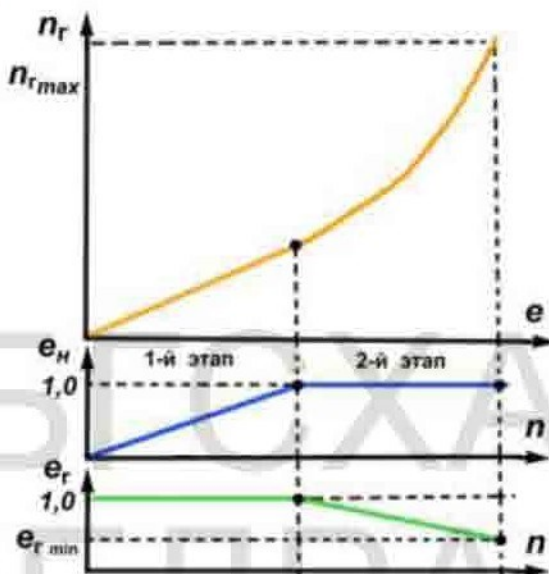
*Регулировочная характеристика гидропривода с объемным регулированием скорости*

1-й этап –  $e_H = 1$ ,

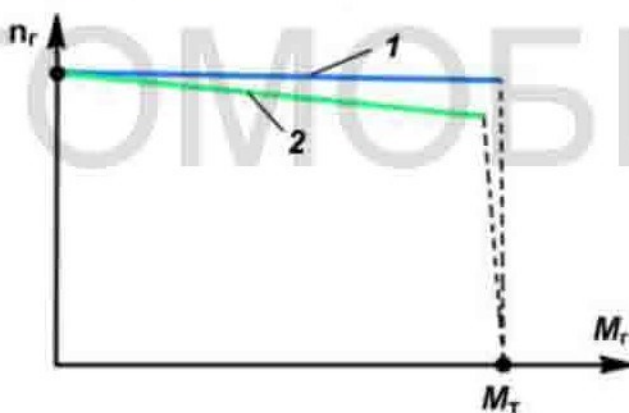
изменяется  $e_H$  от нуля до 1;

2-й этап –  $e_H = 1$ ,

изменяется  $e_r$  от 1 до  $e_{r \min}$ .



*Нагрузочная характеристика гидропривода с объемным регулированием скорости*



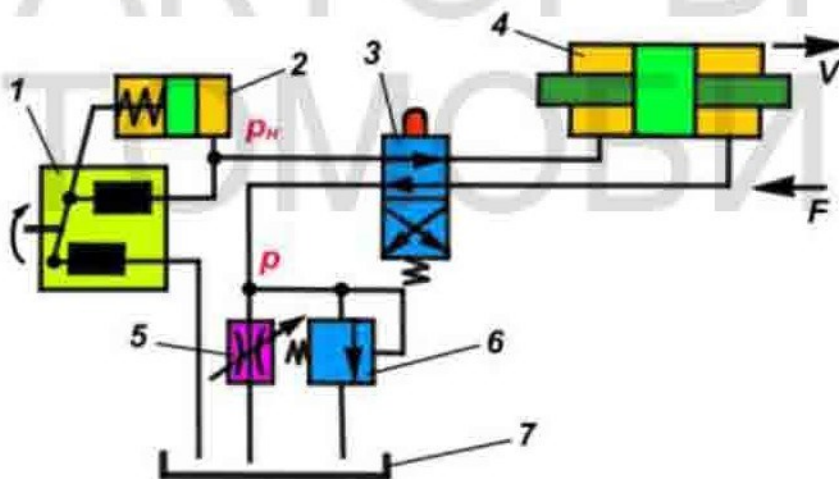
При отсутствии потерь гидропривод имеет абсолютно «жесткую» нагрузочную характеристику – прямая 1.

При наличии потерь в гидроприводе имеем реальную нагрузочную характеристику – прямая 2.

## 9. Гидропривод с объемно-дроссельным регулированием

**Объемно-дроссельный (машинно-дроссельный)**, способ регулирования скорости выходного звена объемного гидропривода заключается в том, что в гидроприводе постоянного давления питания с дроссельным регулированием скорости используется регулируемый насос.

*Гидропривод с объемно-дроссельным регулированием скорости*

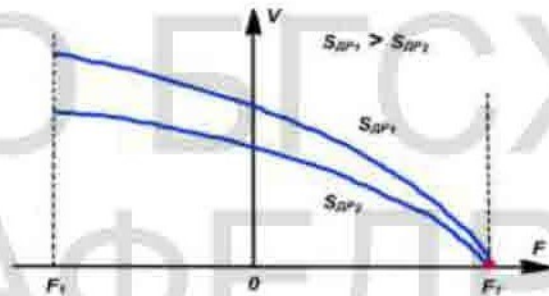


1 – аксиально-поршневой насос; 2 – автомат регулирования подачи;  
3 – распределитель; 4 – гидроцилиндр; 5 – регулируемый дроссель;  
6 – переливной клапан; 7 – бак.

Скорость движения поршня гидроцилиндра

$$V = \frac{Q_r}{S_n} = \mu \frac{S_{др}}{S_n} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left( P_n - \frac{F}{S_n} \right)}$$

*Нагрузочная характеристика гидропривода с объемно-дрессельным регулированием скорости при последовательном включении дросселя на выходе из гидродвигателя*

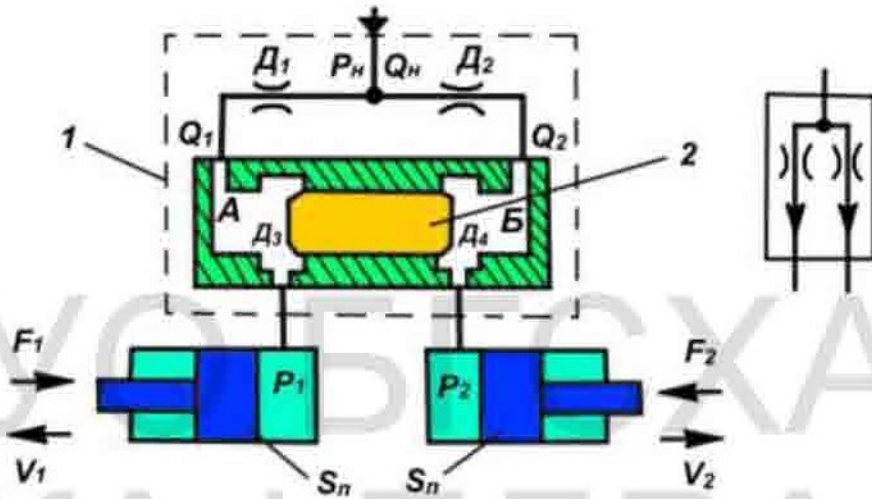


## **10. Системы синхронизации движения выходных звеньев нескольких гидродвигателей**

**Системы синхронизации** предназначены для одновременного и синхронного действия нескольких исполнительных гидродвигателей, к которым рабочая жидкость подается от одного насоса.

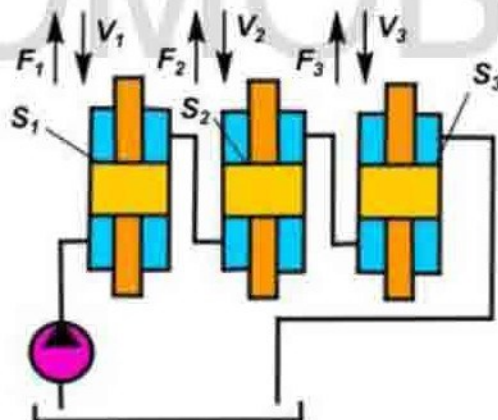
В гидроприводах наибольшее распространение получили **дрессельные** и **объемные** способы синхронизации.

При **дрессельном способе синхронизации** используют **дрессельные делители потока**.

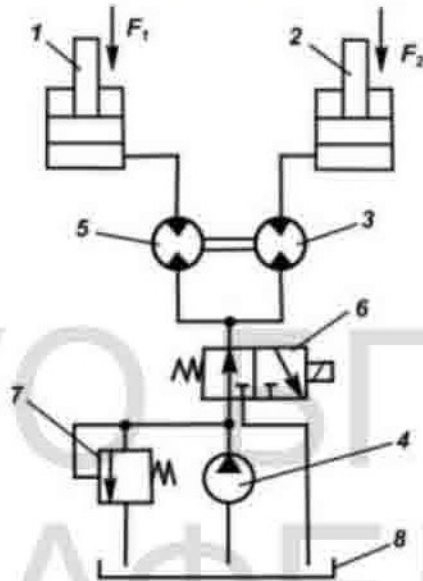


**Объемные способы синхронизации** базируются на использовании принципа **объемного дозирования расхода**, подводимого к гидродвигателям.

*Последовательное включение гидроцилиндров*



### Гидропривод с объемной синхронизацией



$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{W_{r1} \cdot n}{W_{r2} \cdot n} = \frac{W_{r1}}{W_{r2}} = \text{const}$$

## 11. Следящие гидроприводы

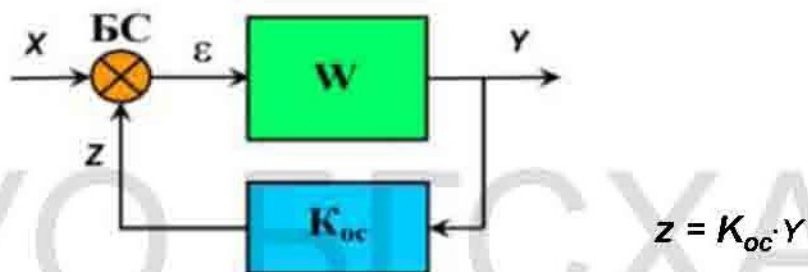
**Следящим** называется гидропривод, в котором перемещение его выходного звена находится в строгом соответствии с величиной управляющего воздействия.

Следящий гидропривод используется в качестве **гидравлического усилителя мощности** – устройства, которое помимо передачи сигнала управления обеспечивает одновременное увеличение его мощности за счет использования возможностей гидропривода.

**Коэффициент усиления** – отношением мощности на выходном звене к мощности сигнала управления гидроприводом.

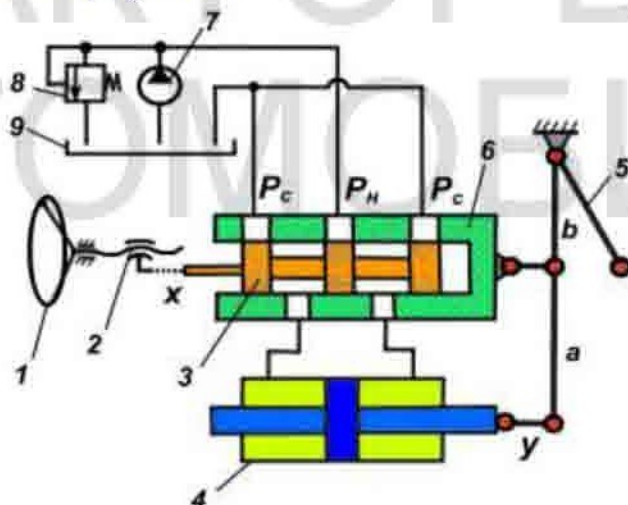
Следящий гидропривод это автоматическое устройство которое называют **системой с отрицательной обратной связью** (в соответствии с теорией автоматического управления).

*Блок-схема следящего гидропривода*



*X – сигнал управления; Y – выходной сигнал; Z – сигнал обратной связи; ε – сигнал рассогласования; BC – блок согласования; K<sub>oc</sub> – коэффициент усиления цепи обратной связи; W – исполнительное устройство.*

*Схема гидроусилителя рулевого управления на основе следящего гидропривода*



*1 – рулевое колесо; 2 – передача рулевого механизма; 3 – золотник; 4 – гидроцилиндр; 5 – рулевая тяга (сошка); 6 – корпус дросселирующего распределителя; 7 – насос; 8 – клапан; 9 – бак.*