

Хидраулика и пнеуматика

Хидраулички цилиндри (хидроцилиндри) - 07

Машински факултет Универзитет у Београду

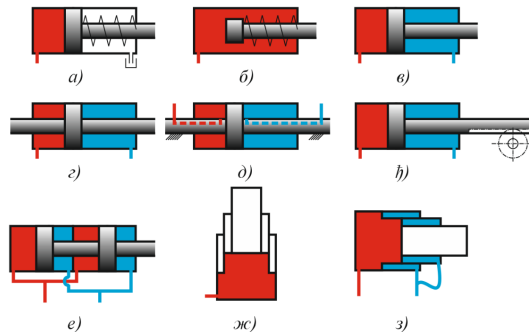


доц. др Милан Раковић
Катедра за механику флуида

7.1 Подела хидроцилиндара

- **Хидроцилиндри** су актуатори који доведену хидрауличку снагу претварају у снагу ограниченог, наизменичног, праволинијског кретања извршног органа (клипа или плунжера)
- Хидроцилиндри се најпре могу поделити на:
 - хидроцилиндре **једносмерног** дејства
 - хидроцилиндре **двосмерног** дејства

- Код хидроцилиндара једносмерног дејства (слике а, б и ж) - уље под притиском се доводи само са клипне стране и одатле реализује радни ход
- клипњачина комора је повезана са резервоаром због процуривања - дренажа
- Повратни ход се остварује дејством спољне силе или опруге, када је клипна комора помоћу разводника спојена са резервоаром
- Специфична конструкција једносмерног хидроцилиндра је плунжерни цилиндар (слика б). Код њега улогу клипа на себе преузима клипњача
- На крају клипњаче постоји граничник хода, који служи и као ослонац опруге.



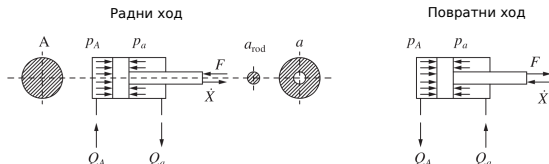
- код хидроцилиндара **двосмерног** дејства уље под притиском се наизменично доводи у клипну или клипњачину комору. За то време друга комора је повезана са резервоаром (ради одвођења уља) - нпр. слика в
- на тај начин се наизменично врше радни и повратни ход хидроцилиндра

7.1 Подела хидроцилиндра

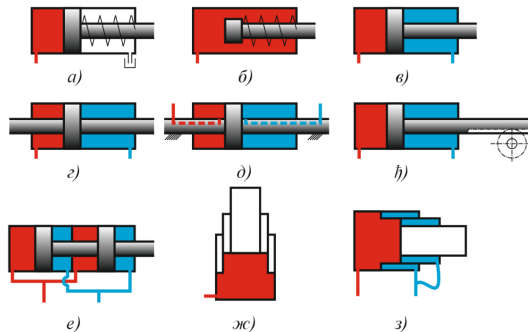
- Постоји и следећа подела:

- хидроцилиндри са једностраном клипњачом
- хидроцилиндри са двостраном клипњачом

- Једнострана клипњача је уобичајено решење - различите су површине на које делује уље са једне и друге стране. Разликује се проток који се доводи хц. од оног који се одводи из њега



- Због неједнаких протока овакви хидроцилиндри се могу корисити само у хидрауличким системима са отвореном циркулацијом
- У хидрауличким системима са затвореном циркулацијом користе се хидроцилиндри са двостраном клипњачом

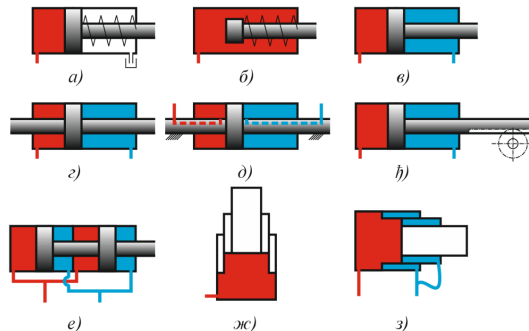


- поставља се на другу страну „лажна клипњача“, која уједно служи и као додатна вођица клипа (слика г)
- изједначене су површине и протоци

7.1 Подела хидроцилиндара

- У већини случајева цилиндар је непокретан, а клип и клипњача се померају
- Постоје конструкције код којих су клипњача и клип фиксирани, а цилиндар се креће (слика д)
- У овом случају су клипњача и клип вођица цилиндру, а уље се доводи и одводи кроз канале, који су избушени у клипњачи паралелно са њеном осом (или кроз прикључке на цилиндарској цеви)

- За остваривање већих ходова, при ограничену уградном простору, најчешће се користе **телескопски цилиндри**
- Примена: уређај за самоистовар код камиона и хидраулички лифтови. И код ових конструкција постоје варијанте са једносмерним (слика ж) и двосмерним дејством (слика з)

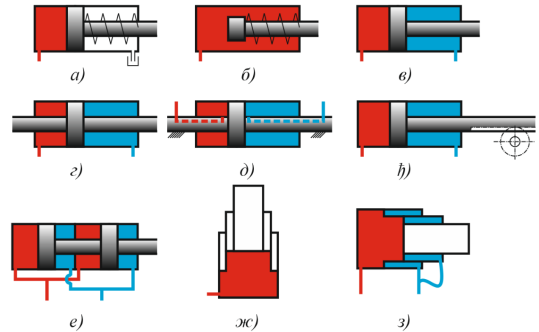
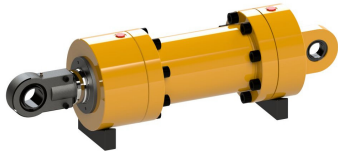


- При остварењу великих сила потребна је велика површина клипа. Повећање пречника клипа често није могуће или није добро решење
- Тада се може користити **тандем хидроцилиндар** (слика е)
- Два клипа се налазе на истој клипњачи и у заједничком цилиндру, који је подељен преградом, тако да сваки клип има своју, условно речено, радну и повратну страну

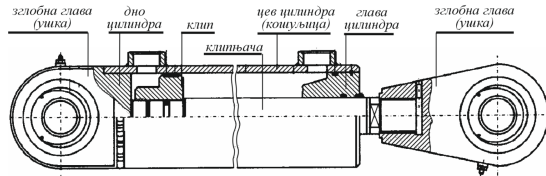
- Радне стране су међусобно спојене и везане за потисни вод, а повратне стране су такође спојене и везане за повратни вод
- Силе, које се генеришу на клиповима, се сабирају и предају се клипњачи. У принципу, ова конструкција делује као два засебна цилиндра са паралелном везом и заједничком клипњачом

7.1 Подела хидроцилиндара

- Транслаторно кретање клипњаче може се претворити у закретно кретање преко назубљене летве, која је везана за клипњачу, и зупчаника везаног за излазно вратило (слика ђ)
 - Овакви хидроцилиндри функционишу као закретни хидромотори
-
- Од свих описаних врста, најчешће су у употреби једносмерни и двосмерни хидроцилиндри са једностраном клипњачом, као и телескопски цилиндри у подручју мобилне механизације

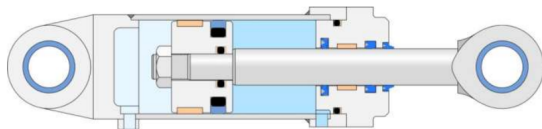


7.2 Клипни хидроцилиндри



Основни делови:

- ① цилиндарска цев (цилиндар, кошуљица) са прикључцима
- ② глава цилиндра
- ③ дно цилиндра
- ④ клип
- ⑤ клипњача
- ⑥ зглобне главе – ушке, на дну цилиндра и на клипњачи

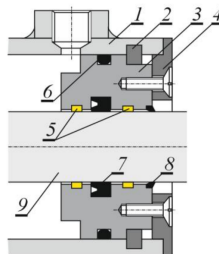


① Цилиндарска цев

- најчешће бешавна цев (без заварених спојева) која представља основу склопа хц.
- унутрашња површ цеви је прецизно обрађена, а са спољашње стране су заварена два навојна прикључка за довод и одвод радног флуида

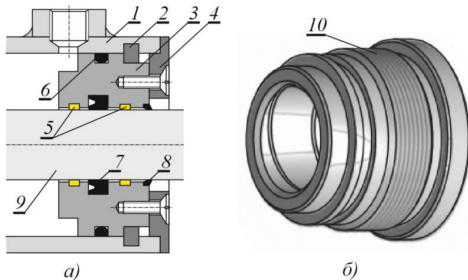
② Глава цилиндра

- постављена је на крају цилиндра са клипњачине стране
- улога: затвара клипњачину комору и служи као вођица клипњаче



7.2 Клипни хидроцилиндри

② Глава цилиндра

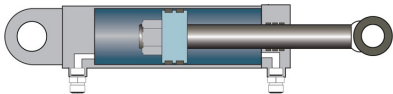


- на слици су означени делови главе хидроцилиндра као што су: (3) вођица, (4) поклопац
- они су спојени завртањском везом. Поклопац се ослања на цев хц. што обезбеђује мировање главе хц. при повратном ходу клипњаче
- да би глава хц. мировала и при радном ходу клипњаче, у цилиндарску цев (1) је постављен прстен - држач (2)
- прстен је направљен је из три дела (по 120°), да би могао да се постави у канал који је урезан у цев

- то је један од начина да се глава причврсти за цев хц. Други начин је приказан на слици 6, где се користи навој
- улога главе хц. је и да врши вођење клипњаче 9
- уобичајено је да се у вођицу поставе два прстена (5) од полиамид дуретана, који имају унутрашњи пречник за око $50 \mu m$ мањи од унутрашњег пречника вођице (полиамид дуретан је делимично кристална пластика, ојачана 30% стакленим влакнима, изузетно отпорна на хабање)
- прстенови (5) спречавају директан додир клипњаче и вођице, чиме се избегава њихово хабање
- како је обезбеђено заптивање?
- заптивање споја цеви хц. и главе хц. обезбеђује О-прстен (6)
- заптивање између клипњаче (9) и вођице (3) обезбеђује заптивач - манжетна (7)
- са излазне стране главе, уз клипњачу, се поставља стругач (8), који спречава продор нечистоћа у хидроцилиндар при увлачењу клипњаче



7.2 Клипни хидроцилиндри



③ Дно цилиндра

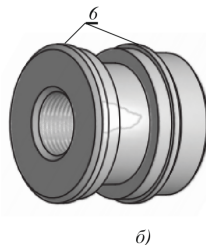
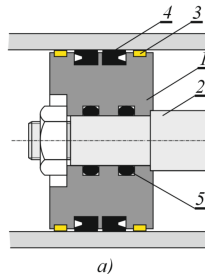
- На другу страну цилиндарске цеви се поставља дно цилиндра
- то је плоча која се за цев цилиндра заварује или се за њу везује вијцима (ређе)
- уколико цилиндар има двострану клипњачу, онда се и на другом крају поставља, већ описана, глава цилиндра
- на дно цилиндра се заварује зглобна глава (ушка), или прирубница

⑤ Клипњача

- Клипњача је цилиндричног облика. Најчешће је од ваљаног челика, који је толерисано обрађен и тврдо хромиран
- на оба краја има урезан навој. Навој у унутрашњем делу служи за прихват клипа, док се на навој на другом крају навија зглобна глава (ушка)
- клипњаче могу бити каљене, двапут хромиране, од инокса, могу бити и шупље

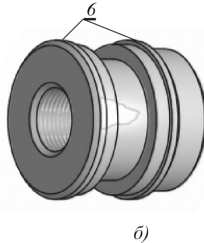
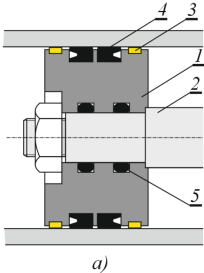
④ Клип

- Клип дели простор цилиндра на две коморе са различитим притиском и спречава пролаз течности из једне у другу
- челични клип прихвата различите притиске са једне и друге стране и тако генерисану силу предаје клипњачи
- један од начина повезивања клипа са клипњачом је приказан на слици



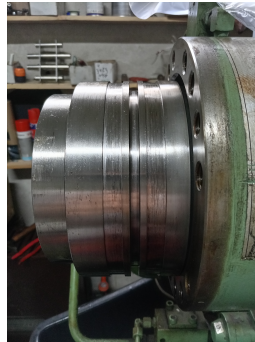
- клип (1) се за клипњачу (2) везује на њен толерисано обрађен рукавац, након чега се фиксира матицом

7.2 Клипни хидроцилиндри



- клип (1) се за клипњачу (2) везује на њен толерисано обрађен рукавац, након чега се фиксира матицом
- заптивање између рукавца клипњаче и клипа изводи се О-прстеновима (5)
- на ободној површини клипа урезани су канали у које се смештају полиамидни прстенови (3), који врше вођење клипа, спречавајући додир металних површина
- ови прстенови немају улогу заптивања (чак су разрезани, да би могли да се убаце у канале клипа)
- заптивање врше гумени заптивачи (4) „манжетне“, који се обично постављају у пару, за један и други смер

- на слици б) је приказан клип који нема полиамидне прстенове, већ су за вођење обрађене две прстенасте површине на његовом ободу (6). Између њих се налази урезан канал у који се смештају гумени заптивачи. За разлику од претходног клипа, овај у својој централној рупи има урезане навоје и навија се на навој који постоји на крају клипњаче



7.2 Клипни гидроцилиндри

⑥ Зглобне главе - ушке

- На крају клипњаче и на дну цилиндра постављају се зглобне главе - ушке



а)

б)

- ушка на крају клипњаче се најчешће навија на навој који постоји на крају клипњаче. Ушка на дну цилиндра се најчешће заварује
- у ушкама може бити упресована бронзана клизна чаура, а може бити постављен зглобни лежај (слика б)
- клизне чауре и зглобни лежаји се подмазују помоћу мазалице (прикључци за мазалицу се виде на слици)
- уколико су у обадве ушке упресоване клизне чауре, осовинице које кроз њих пролазе морају бити монтиране паралелно једна другој

- то значи да и током рада цилиндра морају остати паралелне, односно да је дозвољено мењање угла цилиндра само у равни која је нормална на осе клизних чаура
- уградњом зглобног лежаја, губи значај непаралелност осовиница настала током уградње. Такође, при раду је дозвољено мењање угла цилиндра у било којој равни за онај угао, који зглобни лежај може да омогући
- зависно од потребе и уграђених прикључних подсклопова на цилиндру (ушке, прирубнице, рукавци на цилиндарској цеви и сл.), постоји више начина повезивања гидроцилиндра за основну машину и уређај који покреће
- основни начини уградње су приказани на следећој слици:

7.2 Клипни хидроцилиндри

- основни начини уградње хидроцилиндара:



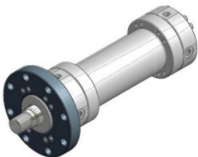
а)



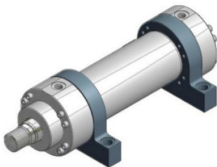
б)



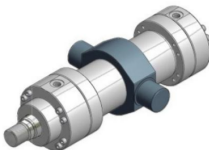
в)



г)



д)



е)

- (а) цилиндар који на обе стране (дно цилиндра и клипњача) има зглобне главе за везу са машином. На оба места су уграђене клизне чауре, што значи да је важно обезбедити саосност осовина које су провучене кроз клизне чауре
- (б) цилиндар који са стране дна цилиндра има зглобну главу у којој се налази зглобни лежај. Није дефинисана веза са клипњачом, она може бити навојем директно спојена са гоњеним објектом
- (в) веза хидроцилиндра и машине је остварена помоћу прирубнице која се налази на дну цилиндра
- (г) исто као у претходном случају, само се овде прирубница налази на глави хц. Овај и претходни начин се примењују искључиво при вертикалној уградњи цилиндара
- (д) цилиндар који је за машину круто везан стопама. Треба обратити пажњу на то да аксијално оптерећење клипњаче ствара момент у односу на места ослањања. Потребно је обезбедити круте ослоње, добро притезање стопа уз подлогу и по могућности вођење терета
- (е) цилиндар се за основну машину везује преко рукаваца, око којих може да се закреће. Прстен на коме се налазе рукавци се фиксира у једном положају за цилиндар. Зависно од потребе, прстен и рукавци могу бити причвршћени поред дна цилиндра, близу главе хц. или било где између

7.2 Клипни хидроцилиндри

D	d	250 bar	350 bar	D	d	250 bar	350 bar	D	d	250 bar	350 bar
40	20	+		125	70	+		220	140	+	
	28	+	+		90	+	+		160	+	+
50	28	+		140	90	+		250	160	+	
	36	+	+		100	+	+		180	+	+
63	36	+		160	100	+		280	180	+	
	45	+	+		110	+	+		200	+	+
80	45	+		180	110	+		320	200	+	
	56	+	+		125	+	+		220	+	+
100	56	+		200	125	+					
	70	+	+		140	+	+				

- D - пречник клипа
- d - пречник клипњаче



- Саобразно сили и притиску, за који се предвиђају, цилиндри се израђују у широком дијапазону димензија
- табела приказује стандардне величине пречника клипа (D) и пречника клипњаче (d)
- уобичајени однос ове две величине је $d/D = (0,3 \div 0,7) (= \psi)$

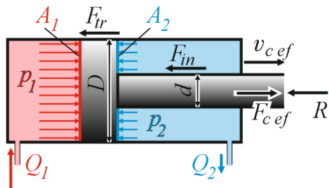


Прорачун радних параметара хидроцилиндра

Радни параметри хидроцилиндра:

- улазни
 - притисак p
 - проток Q
- излазни
 - ефективна сила на клипњачи F_{ef}
 - брзина клипа и клипњаче v_{ef}

Пример прорачуна радних параметара за случај двосмерног хидроцилиндра са једностраном клипњачом - при радном ходу (извлачење клипњаче)



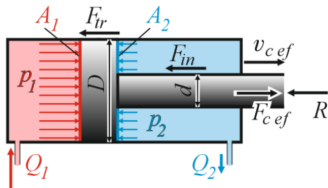
- радни притисак p_1 је изазван спољашњим оптерећењем R које је потребно савладати

- p_2 је притисак повратног вода ако је клипњачина комора повезана са резервоаром, а ако је хц. редно везан са другим актуатором, онда је p_2 притисак који проузрокује оптерећење тог другог актуатора ($p_1 > p_2$)
- теоријска сила којом хц. савладава спољашње оптерећење је

$$F_t = p_1 \frac{D^2 \pi}{4} - p_2 \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4}$$

- пored спољашње силе R појавиће се и силе које се супротстављају кретању, а генеришу се у самом хидроцилиндру
- то су силе трења између елемената клипа и цилиндарске цеви, као и трење између клипњаче и елемената вођице. Ова трења се дешавају на више тарних површина (заптивачи - манжетне, водеће металне и полиамидне површине и сл.)
- пored тога, јавља се и трење уља о металне површине, као и вискозно трење унутар самог уља. Све те компоненте трења приказане су на шеми укупном силом трења F_{tr}

Прорачун радних параметара хидроцилиндра



- током покретања и заустављања клипа и клипњаче јавља се сила инерције

$$F_{in} = \pm m \frac{dv}{dt},$$

где је m маса свих делова који врше убрзано кретање, укључујући и уље у цилиндру. Током равномерног кретања сила инерције је $F_{in} = 0$

- због постојања ових сила, ефективна сила на клипњачи хидроцилиндра је:

$$F_{ef} = F_t - F_{tr} \pm F_{in} = p_1 A_1 - p_2 A_2 - F_{tr} \pm F_{in}$$

- аналитичко одређивање сила трења и сила инерције би било сложено, уз превише процењених вредности и нужних апроксимација
- ове силе (F_{tr} и F_{in}) сматрамо хидромеханичким губицима силе ΔF_c , што се у прорачуну узима у обзир хидромеханичким коефицијентом искоришћења η_c^h :

$$\eta_c^h = \frac{F_{ef}}{F_t} = \frac{F_t - \Delta F_c}{F_t} = 1 - \frac{\Delta F_c}{F_t} < 1$$

- за познато спољашње оптерећење (и притисак повратног вода), могуће је израчунати потребан притисак у цилиндру

$$R = F_{ef} = F_t \eta_c^h = (p_1 A_1 - p_2 A_2) \eta_c^h$$

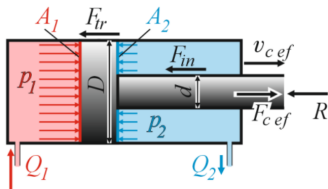
$$p_1 = \frac{4 F_{ef}}{D^2 \pi \eta_c^h} + p_2 (1 - \psi^2),$$

где је $\psi = d/D$

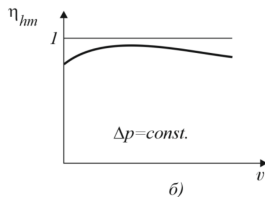
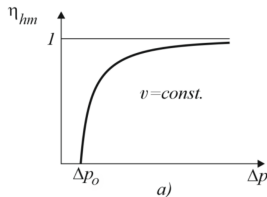
- слично се може израчунати притисак p_2 када је потребно извршити повратни ход (увлачење клипњаче)

$$p_2 = \frac{4 F_{ef}}{(1 - \psi^2) D^2 \pi \eta_c^h} + p_1 \frac{1}{1 - \psi^2},$$

Прорачун радних параметара хидроцилиндра



- хидромеханички степен корисности зависи од више фактора (материјала, квалитета и димензија заптивача, квалитета обраде свих тарних површина) али су најутицајнији разлика притисака $\Delta p = p_1 - p_2$ и брзина кретања v . Ова зависност је приказана на слици:

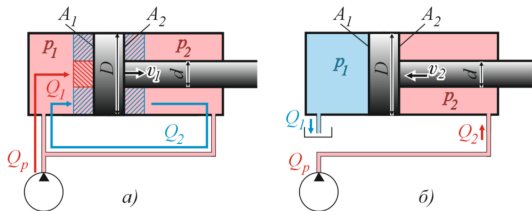


- вредност хидромеханичког степена искоришћења креће се у границама $\eta_c^h = (0,85 \div 0,97)$
- Δp_0 је разлика притисака потребна за покретање клипа и клипњаче
- Довођењем протока Q у клипну комору, остварује се брзина кретања $v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4Q}{D^2\pi}$
- довођењем истог протока у клипњачину комору брзина ће бити $v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{4Q}{(D^2 - d^2)\pi}$
- заптивање на клипу и на глави хц. је веома добро па се може сматрати да је запремински степен корисности $\eta_c^v \approx 1$ (због тога не разликујемо теоријску и ефективну вредност брзине)
- максимална брзина клипњаче код стандардне конструкције износи 0,5 m/s. Минимална брзина је 0,05 m/s, а условљена је појавом кретања са трзајима. Везана је за разлику статичког и динамичког коефицијента трења
- однос брзина увлачења и извлачења клипњаче је

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{D^2}{D^2 - d^2} = \frac{1}{1 - \psi^2} > 1 \quad \Rightarrow \quad v_2 > v_1$$

Диференцијални хидроцилиндар

- управо је показано да је код двосмерног хидроцилиндра са једностраном клипњачом радни ход, при истом протоку „спорији“ од повратног $v_2 > v_1$
- то често није прихватљиво. Потребно је брзину радног хода повећати, смањити или изједначити је са брзином повратног хода
- то се може решити променом улазног протока
- други начин је коришћење тзв. **диференцијалног цилиндра**



- повратни ход се одвија на уобичајени начин, клипњачина комора је повезана са пумпом, а клипна са рез. (сл. б)
- разлика је у радном ходу (извлачење клипњаче), када су **клипна и клипњачина комора повезане са пумпом** (сл. а)

- у обе коморе влада исти радни притисак $p_1 = p_2$, а до кретања у смеру извлачења долази услед разлике површина $A_1 > A_2$
- сав флуид из клипњачине коморе Q_2 ће се прелити у клипну комору
- проток Q_1 једнак је збиру протока који шаље пумпа Q_p и протока Q_2 , што ће знатно повећати брзину извлачења
- брзина извлачења v_1 се може изразити из услова:

$$Q_1 = Q_p + Q_2, \quad v_1 A_1 = Q_p + v_1 A_2$$

$$v_1 (A_1 - A_2) = Q_p \quad \boxed{v_1 = \frac{4Q_p}{d^2 \pi}}$$

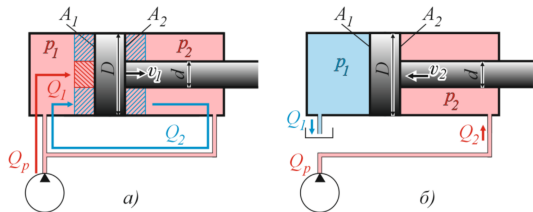
- брзина увлачења остаје као и до сада:

$$v_2 = \frac{Q_p}{A_2} = \frac{4Q_p}{(D^2 - d^2)\pi} \quad \boxed{v_2 = \frac{4Q_p}{(1 - \psi^2)D^2 \pi}}$$

- однос брзина клипњаче при повратном и радом ходу диференцијалног хц. је:

$$\boxed{\frac{v_2}{v_1} = \frac{\psi^2}{1 - \psi^2}}$$

Диференцијални хидроцилиндар



- ако се упореде изрази за однос повратне и радне брзине клипњаче за класичан цилиндар са једностраном клипњачом и за диференцијални хидроцилиндар:

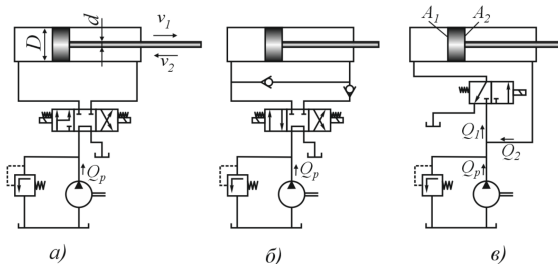
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{1 - \psi^2}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\psi^2}{1 - \psi^2}$$

- може се уочити да је у првом изразу брзина извлачења обавезно мања од брзине увлачења ($v_1 < v_2$), док у другом случају **зависности од величине ψ**
- брзина извлачења може бити већа, једнака или мања од брзине увлачења
- гранични случај при којем је $v_1 = v_2$ је остварен за услов $\psi = \frac{d}{D} = 0,707$

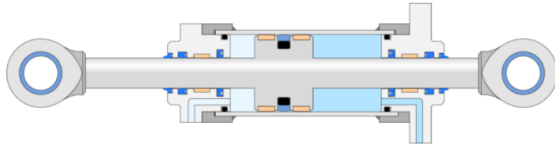
- за $\psi < 0,707$ важи $v_1 > v_2$
- за $\psi > 0,707$ важи $v_1 < v_2$

- принцип повезивања клипњачине и клипне коморе са пумпом је шематски приказан на претходној слици, а то се може технички реализовати на више начина

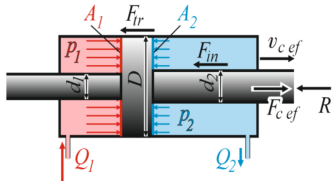


- помоћу специјалног разводника 4/3
- уз стандардан разводник користе се два неповратна вентила, од којих је горњи хидраулички управљан. При повезивању клипне коморе са пумпом, притисак отвара хидраулички управљан неповратни вентил и омогућава везу клипне и клипњачине стране (**уцртај сигнални вод!**)
- решење разводником 3/2

Хидроцилиндри са обостраном клипњачом



- Још једно решење за изједначавање улазног и излазног протока је коришћење обостране клипњаче
- уколико клипњача са друге стране не служи за остваривање корисног рада, већ само да изједначи запремине комора, онда се назива „лажна“ клипњача
- овакав случај се често користи у хидруличким системима са затвореном циркулацијом (нема резервоара)
- пречници клипњача не морају бити идентични, у том случају постоји одређена разлика протока



Мане оваквог решења:

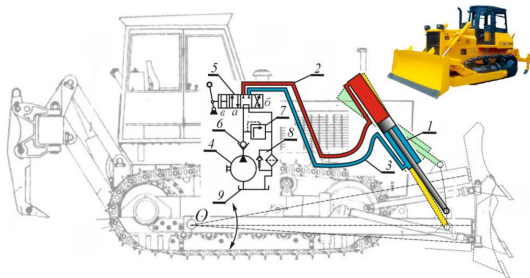
- излазак лажне клипњаче на супротну страну при повратном ходу захтева додатни просор који мора остати слободан (то може довести до повећања габарита машине или створити конструкционе потешкоће)
- постоје три места вођења (две вођице клипњача и вожење клипа у цилиндарској цеви) То подразумева врло прецизну израду са аспекта саосности ова три елемента (клипа, клипњаче, цеви) и самим тим технолошки сложенију и скупљу израду
- две клипњаче захтевају да на свакој страни цилиндарске цеви буде уграђена по једна цилиндарска глава са свим елементима за заптивање и вођење. То додатно поскупљује склоп

Због ових недостатака хидроцилиндри са двостраном клипњачом се најчешће постављају на конструкцијама које у једном смеру обављају једну, а у другом смеру, на другој страни цилиндра, неку другу радну операцију

Тада не постоји лажна клипњача, обе су радне (као што на првој слици обе клипњаче имају ушке за везу са гоњеним елементима)

Пример 1

Пример примене двосмерног цилиндра са једностраном клипњачом за покретање раоника

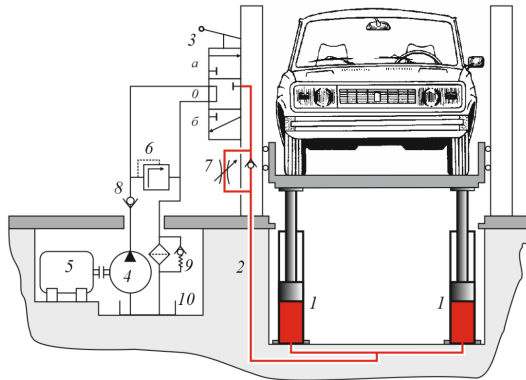


- Раоник је причвршћен за рам, који је зглобно везан за носаче гусеница у тачки О. Око те тачке рам се закреће при подизању и спуштању раоника
- закретање се врши помоћу два идентична, паралелно везана двосмерна хидроцилиндра са једностраним клипњачама (1)
- они су помоћу прстена и рукаваца на цилиндарској цеви везани за оклоп багера (табела стр. 10), а клипњаче су преко ушица везане за рам раоника

- пумпа (4) добија погон од мотора СУС и преко разводника (5) и цеви (2) и (3) шаље уље у цилиндар
- разводник у **неутралном положају** (као на слици) - уље се враћа назад кроз пречистач (8) у резервоар (9). Хидроцилиндри су заочени, раоник ће остати у тренутном положају
- **положај (а)** - уље под притиском одлази кроз вод (2) у клипну комору, потискујући клип и клипњачу наниже. Клипњача се извлачи, потискујући раоник у подлогу. Уље из клипњачине коморе кроз вод (3) и разводник одлази у резервоар
- **положај (б)** - уље под притиском одлази у клипњачину комору. Клипњача се увлачи, подижући раоник. Уље из клипне коморе преко разводника одлази у резервоар
- **положај (в)** - спојени су клипна и клипњачина комора са пумпом и резервоаром - **отворени центар**
- услед тежине раоник се спушта, извлачећи клипњачу и потискујући уље из клипњачине коморе у клипну
- Раоник пада на тло, али без потискивања од стране цилиндра. Кретањем багера уназад, раоник прати профил терена (као да плива по њему) и земљу испод себе распростире својом леђном страном у складу са профилем терена
- чему служи неповратни вентил код пречистача (8) ?

Пример 2

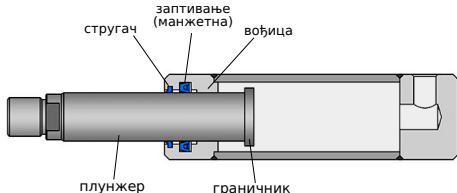
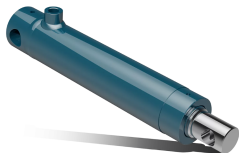
Двостубна хидрауличка дизалице са два једносмерна хидроцилиндра



- На слици је приказан хидраулички круг двостубне дизалице са два једносмерна хидроцилиндра са једностраном клипњачом
- код једносмерних хидроцилиндара клипњачина комора је без уља, тј. није спојена на хидрауличку мрежу

- Клипне коморе хидроцилиндара (1) су преко цеви (2) повезани са разводником (3). Када је разводник у **неутралном положају**, уље из пумпе се прелива назад у резервоар. Цев (2) је затворена и цилиндри држе терет у тренутном положају (закочен положај)
- **положај (а)** - спајају се цилиндри са пумпом и уље, пролазећи кроз разводник и пригушни неповратни вентил (7), пуни клипне коморе. Клипњаче се извлаче и подижу терет (уље у овом смеру пролази кроз вентил (7) без пригушења, поред куглице)
- **положај (б)** - цев (2) се спаја са резервоаром. Терет потискује клипњаче и клипове и они потискују уље у резервоар. Терет се спушта. Уље ће, крећући се у овом смеру, при пролазу кроз вентил (7) бити принуђено да пролази кроз пригушни отвор, што ће успорити спуштање
- С обзиром да вентил има могућност промене пригушења овог отвора, могуће је подешавати брзину спуштања терета
- На слици су поред поменутих, приказани и остали елементи хидрауличног круга, чија је улога раније објашњена: пумпа (4), електромотор (5), вентил сигурности (6), једносмерни вентил (8), пречистач (9) и резервоар (10)

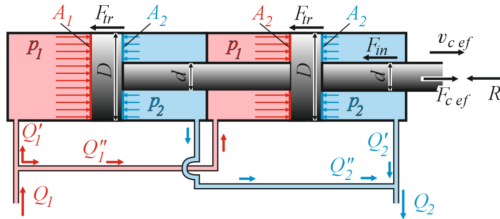
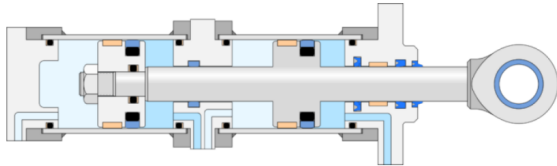
Плунжерски хидроцилиндри



- Једносмерним хидроцилиндрима по функцији су најсличнији плунжерски хидроцилиндри
- могу се замислити као једносмерни хидроцилиндри са једностраном клипњачом код којих на врху клипњаче не постоји клип
- **улогу клипа на себе преузима клипњача (плунжер)**, на чију чеону површину делује притисак и потискује га ван цилиндра

- повратни ход се одиграва под дејством оптерећења или уграђене опруге
- на челу плунжера често се налази граничник, који спречава потпуно извлачење плунжера из цилиндра и служи и као ослонац за опругу (ако је она уграђена)
- да ли пречник граничника утиче на перформансе хидроцилиндра?
- **Предности:**
 - изразита једноставност конструкције, условљена непостојањем клипа, као једног од најсложенијих подсклопова (мања цена)
 - непостојањем клипа нестaje потреба за прецизним технолошким поступком постизања саосности клипа, клипњаче, главе цилиндра и цилиндарске цеви
 - постоји само једно заптивно место (плунжер - глава цилиндра), уместо два или више њих код других врста хидроцилиндара, чиме се знатно побољшава запремински степен искоришћења
- Основна **мана** је отежано вођење плунжера - нема клипа који помаже у вођењу клипњаче, овде је тај задатак поверен само глави цилиндра. Уколико на терет делују попречне силе треба обезбедити вођење терета, јер плунжер не може да их прими

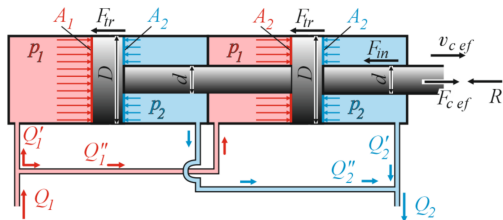
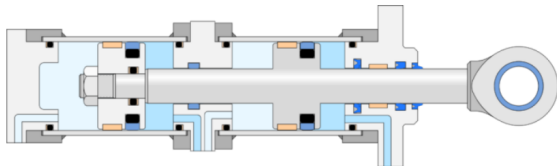
Тандем хидроцилиндри



- Тандем хидроцилиндри се користе у случајевима у којима је потребна велика излазна сила на клипњачи
- Ово се може постићи повећањем притиска и/или активне површине клипа

- Повећање притиска је често тешко изводљиво због ограничења пумпе и погонског агрегата. Значајнијим повећањем притиска повећавају се потребне дебљине зидова цилиндра и других компонената, па конструкција постаје гломазна
- најлакши начин је повећање активне површине клипа. Повећање пречника клипа је уобичајено до извесне границе (стандардне вредности наведене у Табели стр 11 и ограничења на основу искуства)
- други начин је постављање већег броја паралелно повезаних хидроцилиндара (Пример 2), који се просторно постављају паралелно један са другим, што захтева више места
- у случају да нема простора за то, примењују се тандем хц. Немају непримерено велики пречник, не заузимају простор као више паралелних хц. али су дужи
- реч о два хц. један са једностраном, а други са двостраном клипњачом, који су паралелно повезани у хидрауличкој инсталацији, а просторно су смештени на једној оси и имају заједничку клипњачу
- на тај начин се рачунају и излазне карактеристике овог хц. па се може одредити ефективна сила, коју хц. током радног хода може да реализује, она је:

Тандем хидроцилиндри



- Ефективна сила коју хидроцилиндар са слике може да реализује током радног хода је:

$$F_{ef} = [p_1 (A_1 + A_2) - 2p_2 A_2] \eta_c^h$$

$$F_{ef} = \frac{\pi}{4} D^2 [p_1 (2 - \psi^2) - 2p_2 (1 - \psi^2)] \eta_c^h$$

- за познато спољашње оптерећење које треба савладати ($R = F_{ef}$) и познати притисак p_2 , може се израчунати радни притисак хц. p_1 :

$$p_1 = \frac{4R}{D^2 \pi \eta_c^h (2 - \psi^2)} + 2p_2 \frac{1 - \psi^2}{2 - \psi^2}$$

- Проток Q_1 који улази у цилиндар дефинише брзину клипњаче:

$$v_k = \frac{Q_1}{A_1 + A_2} = \frac{4Q_1}{D^2 \pi (2 - \psi^2)}$$

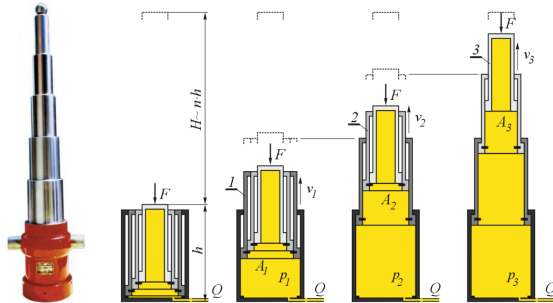
- При димензионисању цеви приказаних на слици потребно је одредити протоке кроз њих

$$Q_1 = Q_1' + Q_1'' \quad Q_1' = v_k A_1 \quad Q_1'' = v_k A_2$$

- важи и: $Q_2 = Q_2' + Q_2'' \quad Q_2' = Q_2'' = v_k A_2$

Као и код класичних клипних хидроцилиндара, и код тандем хидроцилиндара је могућа корекција односа излазних параметара радног и повратног хода применом техника „лажне“ клипњаче и диференцијалног хидроцилиндра

Телескопски хидроцилиндри



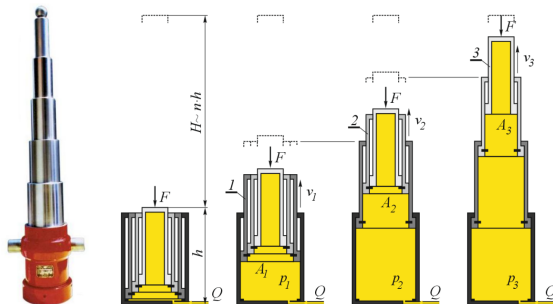
- За постизање великих ходава уз релативно мали уградни простор, уобичајена је употреба **телескопских хидроцилиндара**
- ови хидроцилиндри се најчешће израђују као вертикални цилиндри једносмерног дејства, који се извлаче под дејством притиска радног флуида, а увлаче се под дејством терета
- то су хидроцилиндри са више клипова различитог пречника, који се извлаче и увлаче један у други

- заступљени су сви уобичајени начини повезивања хц. приказани на стр. 10 (ушке са клизним чаурама и зглобним лежајима, прирубнице и рукавци)
- ови цилиндри при извлачењу и увлачењу најчешће мењају правац своје осе, па предност имају начини везивања који ту могућност пружају
- на слици је приказан телескопски хц. са рукавцима на цеви цилиндра, док је на крају централног клипа кугла кугластог зглоба, који омогућава закрет на све стране преко 35°

Којим редоследом и којом брзином се извлаче клипови телескопског хидроцилиндра са слике?

- претпоставља се да пумпа све време шаље константан проток Q и да је спољашње оптерећење F константно
- у почетном тренутку се сви клипови налазе у цилиндарској цеви
- спољашње оптерећење делује на централни клип, а он је ослоњен на остале клипове
- уље под притиском делује на сва три клипа, укупна активна површина је A_1
- **први степен подизања** врше сва три клипа заједно при притиску p_1 који износи:

Телескопски хидроцилиндри



- **први степен подизања** врше сва три клипа заједно при притиску p_1

$$p_1 = \frac{F}{A_1} \frac{1}{\eta_c^h}$$

- када први клип буде заустављен граничником на цилиндарској цеви, могућност кретања имају преостали клипови, чија је укупна површина $A_2 < A_1$
- сила притиска на први клип се сада не преноси на остале клипове (не супротставља се спољашњем оптерећењу), већ њу прихвата глава хц.

- због мање активне површине A_2 потребан је већи притисак p_2 за наставак кретања

$$p_2 = \frac{F}{A_2} \frac{1}{\eta_c^h}$$

- други и трећи клип настављају да се заједно крећу до краја **другог степена дизања**, када други клип удара у граничника (до краја првог клипа)
- тада се активна површина клипа своди на централни (трећи) клип $A_3 < A_2$, па је за наставак кретања потребан највиши притисак p_3 који је довољан да на малој површини A_3 створи силу F

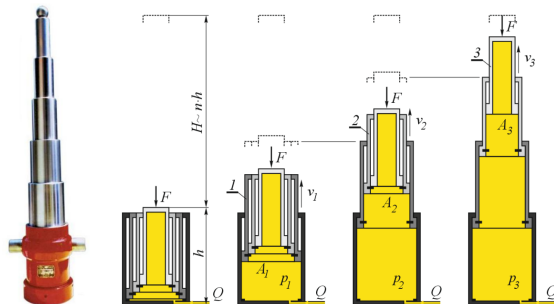
$$p_3 = \frac{F}{A_3} \frac{1}{\eta_c^h}$$

- **трећи степен извлачења** траје док и централни клип не удари у граничник на клипу 2
- следи закључак:

$$A_1 > A_2 > A_3 \quad \Rightarrow \quad p_1 < p_2 < p_3$$

Како се мењају брзине кретања?

Телескопски хидроцилиндри



Како се мењају брзине кретања?

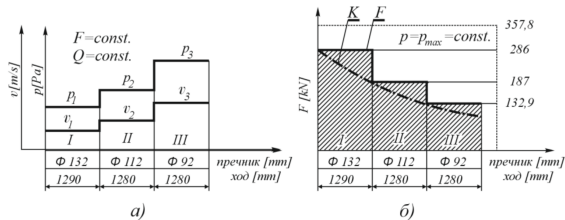
- пошто је проток константан брзина извлачења зависи од тренутне активне површине, следи да је:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \eta_c^v, \quad v_2 = \frac{Q}{A_2} \eta_c^v, \quad v_3 = \frac{Q}{A_3} \eta_c^v$$

важи однос:

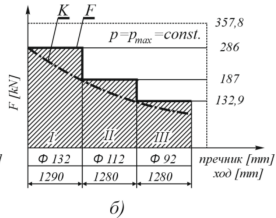
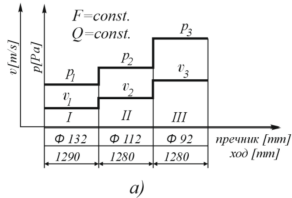
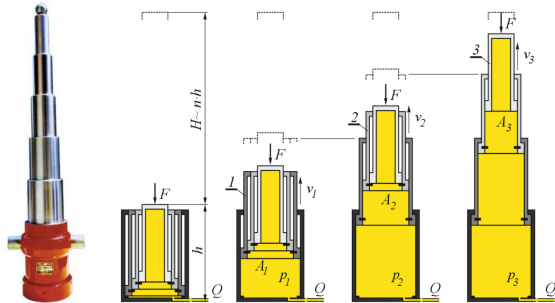
$$A_1 > A_2 > A_3 \Rightarrow v_1 < v_2 < v_3$$

- промене ових радних параметара се могу приказати на карактеристичним дијаграмима телескопског хц.

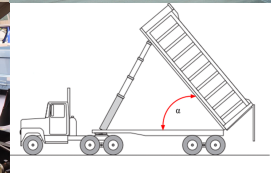
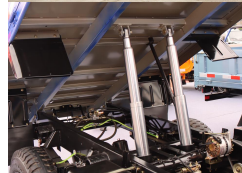


- ток притиска који током подизања задатог терета F влада у цилиндру и брзине којим се креће терет при задатом константном протоку пумпе Q
- фабрички карактеристични дијаграм хц. - произвођач приказује носивост цилиндра при максималном дозвољеном притиску коју он може да оствари за поједине степене дизања, тј. висине дизања
- на дијаграму је уцртан и ток стварног оптерећења K . Важно је да при коришћењу цилиндра буде задовољен услов $K < F$

Телескопски хидроцилиндри



- пример за то да оптерећење опада са повећањем висине дизања је истоварање приколице камиона
- због већег броја заптивних места и дужих ходова, ова врста хидроцилиндара има нешто ниже степене искоришћења од осталих
 - $\eta_c^v \approx 0,98$
 - $\eta_c^h \approx 0,9$



7.3 Прорачун делова хидроцилиндра

- При прорачуну елемената хидроцилиндра полази се од задатих и процењених вредности. **Задате вредности** су:
 - максимална ефективна сила ($F_{\max}$),
 - ход клипа (h),
 - радни и повратни притисак ($p_r = p_1$, $p_p = p_2$)
 - **Процењене величине** се усвајају на бази искуства и података из литературе, то су:
 - хидромеханички степен корисности $\eta_c^h = (0,9 \div 0,97)$
 - однос пречника клипњаче и клипа $\psi = d/D = (0,5 \div 0,7)$
 - Конструкција цилиндра се најчешће ради након израде хидрауличке шеме целог уређаја, па су радни и повратни притисак познате (задате) величине
 - Ако то није случај, они се морају дефинисати уважавајући техничке и економске критеријуме:
 - (а) Већим радним притисцима постижу се мањи пречници клипа, мањи протоци пумпе и мање димензије појединих компоненти система, што појефтиније целокупну конструкцију
 - (б) Ипак, већи притисци захтевају дебље зидове цилиндра и других компоненти, као и оштрије захтеве по питању прецизности израде, што повећава цену
 - (в) висок притисак има негативан утицај на цену експлоатације и одржавања, као и на радни век уређаја
 - На основу овакве анализе за конкретан уређај, бира се оптималан радни притисак хидроцилиндра p_1
 - Повратни притисак је дефинисан хидрауличком шемом уређаја и то је радни притисак серијски везаног елемента иза хидроцилиндра, или ако је повратни вод спојен са резервоаром, онда је p_2 једнак паду притиска у инсталацији од цилиндра до резервоара
-
- пречник клипа D се израчунава на бази задатих и процењених вредности и у зависности од врсте хидроцилиндра (F , ψ , p_1 , p_2)
 - за прорачун дебљине зида цилиндарске цеви користе се формуле из отпорности материја за судове под притиском
 - посебно се обраћа пажња на прорачун клипњаче на извијање

7.4 Заустављање хидроцилиндра

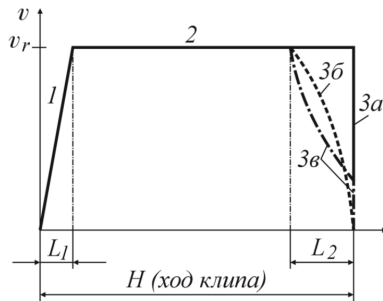
- Од сада је сматрано да у коморама хц. владају константни притисци, који на клипу генеришу константну силу и потискују клип константном брзином
- То је тачно током већег дела радног хода клипа
- Ипак, постоје делови радног хода у којима се клип **не креће константном брзином**. Једначина кретања клипа:

$$F_t = R + F_{tr} + F_{in} \quad \Rightarrow \quad m \frac{dv}{dt} = F_t - F_{tr} - R$$

- на слици су приказане **фазе кретања клипа**:
 - (1) прва фаза - фаза покретања ($\frac{dv}{dt} > 0$)
 - (2) друга фаза - фаза равномерног кретања ($\frac{dv}{dt} = 0$)
 - (3) трећа фаза - фаза заустављања ($\frac{dv}{dt} < 0$)

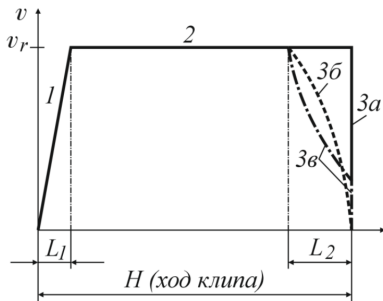
Прва фаза

- При укључивању разводника притисак у клипној комори расте и врло брзо постиже вредност која може да савлада оптерећење (Δp_0), па почиње постепено покретање клипа
- клип убрзава од стања мировања до постизања радне брзине v_r . Током фазе 1 клип пређе пут L_1



- у ово фази брзина клипа је мала и проток који улази у цилиндар је мањи од протока који шаље пумпа
- то значи да притисак расте до p_{sv} и отвара сигурносни вентил, кроз који се вишак протока враћа у резервоар
- у првој фази (убрзано кретање), систем ради на режиму максималног притиска p_{sv}

7.4 Заустављање хидроцилиндра



- дужина пута L_1 , а тиме и убрзање, зависе од притиска p_{sv} . Мања вредност овог притиска резултује дужим путем залета и мањим убрзањем и обрнуто

Друга фаза

- Порастом брзине клипа, све већи део протока улази у цилиндар

- Када се достигне брзина клипа $v_k = Q_p/A$ (сав проток пумпе је примљен у клипну комору), престаје фаза убрзаног кретања
- у систему се генерише радни притисак p_r довољан да савлада само отпор R и силе механичког и хидрауличног трења F_{tr} , сигурносни вентил је затворен
- То је друга фаза - фаза равномерног кретања $v_k = \text{const}$
- Фаза равномерног кретања је меродавна за димензионисање и избор хидроцилиндра

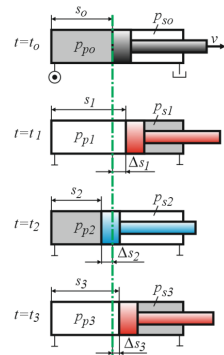
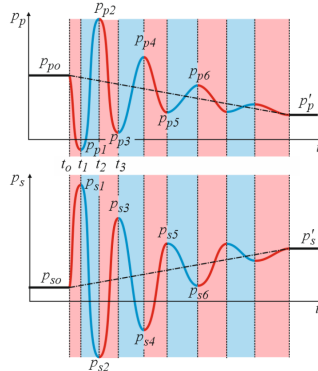
Трећа фаза

- Трећа фаза представља заустављање клипа хидроцилиндра
- Одиграва се на дужини пута L_2 и може да се одвија на више начина:
 - (а) нагло заустављање са ударима $L_2 = 0$ (слика 3а)
 - (б) заустављање са успорењем - кочењем $L_2 > 0$ (слика 3б и 3в)

7.4 Заустављање хидроцилиндра

(а) - Нагло заустављање са ударима $L_2 = 0$ (слика 3а)

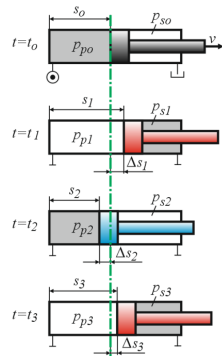
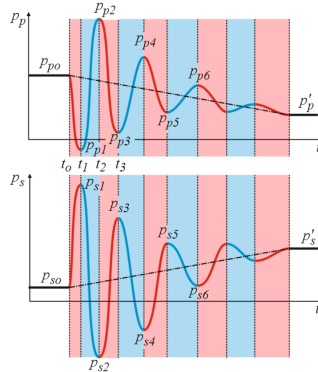
- Нагло заустављање може настати као последица доласка клипа до дна или главе цилиндра. Завршава се наглим **механичким ударом**
- даље притисак расте и отвара вентил за ограничење притиска. Сигурности вентил је отворен док пумпа ради или док се разводник не преведе у неутрални положај
- поред овога, нагло заустављање се дешава и при довођењу разводника у неутралан положај током кретања клипа (слика)
- тренутно се прекида веза клипне коморе са пумпом и клипњачине са резервоаром
- уље, које се нашло у овим коморама и у цевима између разводника и хидроцилиндра, остаје затворено у тим просторима, без могућности истицања
- клип се зауставља „ударајући“ у блокирано уље. За разлику од претходног случаја, где се радило о механичком, овде је реч о **хидрауличком удару**
- У тренутку затварања разводника ($t = t_0$, $s = s_0$) клип услед инерције наставља кретање, сабијајући уље у клипњачиној комори



- Ово уље се понаша као опруга и сабија се, успоравајући клип. Клип ће се потпуно зауставити када се целокупна кинетичка енергија покретних елемената претвори у потенцијалну енергију сабијене „опруге“ (p)
- До тог тренутка ($t = t_1$) клип ће прећи пут Δs_1 , а притисак у клипњачиној комори ће се повећати за Δp_1 , тј. биће $p_{s1} = p_{s0} + \Delta p_1$

7.4 Заушављање хидроцилиндра

- пораст притиска може бити вишеструко већи од радног притиска (видети слику), али то није већи проблем, јер се у овај део система (након разводника) може поставити сигурносни вентил
- потенцијално, већи проблем се може десити са друге стране клипа, у клипној комори
- услед кретања клипа, он тежи да „рашири“ уље, тј. да „истегне хидрауличку опругу“
- у клипној комори нагло опада притисак до вредности p_{p1} . У карактеристичним случајевима може се створити и потпритисак
- проблем представља потпритисак, који може изазвати делимично испаравање уља, што би у следећој фази инерцијалног кретања довело до кавитације
- одмах након заушављања, услед разлике притисака у коморама, клип почиње да се креће у супротном смеру
- пролази неутрални положај s_0 и услед инерције наставља кретање сабијајући уље у клипној комори (овај пораст притиска може изазвати кавитацију, тј. имплозију мехурова паре уља)
- од равнотежног положаја прелази пут Δs_2 . Притисак у клипној комори расте на p_{p2} , док ће у клипњачиној комори пасти на вредност p_{s2}



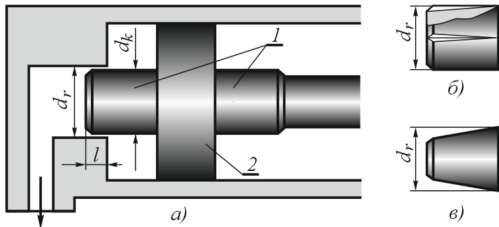
- Када би уље било невискозно („идеална хидрауличка опруга“), ово осциловање би се наставило до бесконачности. Ипак, услед трења ове осцилације се пригушују
- клип се заушавља, а вредности притиска у коморама се стабилизују на p'_s и p'_p (зашто је $p'_s > p'_p$?)

7.4 Заустављање хидроцилиндра

(б) - Заустављање са успорењем - кочењем $L_2 > 0$

- постоје системи у чијем раду нису дозвољени удари, па се приступа постепеном заустављању клипа на крају његовог хода

Заустављање чепом



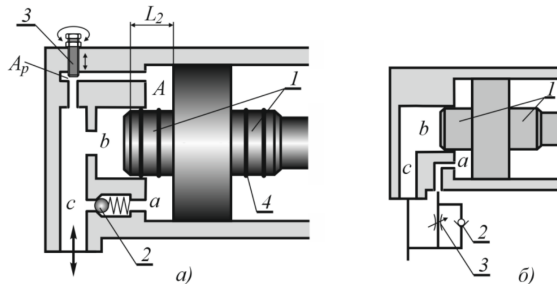
- На клипу (2) постављен је чеп (1), цилиндричног облика, пречника d_k . Има дужину једнаку дужини зауставног пута на коме се планира успоравање клипа
- у дну хидроцилиндра (и у глави хц.) израђује се цилиндрична рупа исте дужине као чеп, пречника d_r ($d_r > d_k$)

- током повратног хода (при увлачењу клипњаче), радни флуид неометано излази кроз цео пресек рупе
- кочење почиње оног тренутка када чеп почне да улази у рупу. Од тог тренутка до краја хода радни флуид истиче само кроз простор који ограничавају зидови рупе и чепа
- пригушење је изазвано протицањем флуида кроз кружни прстен, ширине $s = \frac{d_r - d_k}{2}$
- клип потискује уље из клипне коморе, али услед пригушења долази до пораста притиска у клипној комори. Сила притиска се противи кретању клипа
- ова сила може да успори клип и знатно ублажи његов удар на крају хода
- Чепови могу бити различитог облика. На слици (б) чеп је пречника d_r (нема зазора), и на свом ободу има урезане канале чија се дубина дуж чепа мења. Током увлачења чепа у рупу смањује се проточни простор и повећава се сила кочења, повећавајући успорење при самом крају хода
- На слици (в) приказан је конусни чеп, који има исте ефекте као и претходни (мења величину проточног пресека током аксијалног помака)
- На другој страни клипа налази се идентичан чеп, који при извлачењу клипњаче улази у рупу на глави хц.

7.4 Заустављање хидроцилиндра

Заустављање помоћу пригушнице

- кочење клипа се чешће врши помоћу посебно постављене пригушнице, тако да се степен кочења може контролисати

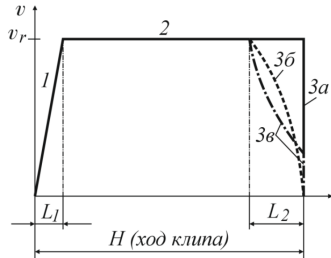


- и у овом решењу постоји чеп (1), али без зазора са рупом. Чеп у потпуности затвара рупу (често се за то уграђују заптивни прстенови - 4) и сав проток у завршном делу хода преусмерава на пригушницу (3)
- Проток кроз пригушницу Q је у директној вези са падом притиска Δp_p у њој. Пригушница изазива повећање притиска у клипној комори, што доводи до силе кочења

- оба начина заустављања (са чепом и са пригушницом) потенцијално представљају проблем приликом покретања клипа из стања мировања у смеру извлачења
 - протицање кроз зазоре или кроз пригушницу би изазвало додатни губитак енергије без икакве сврхе
 - због тога се уграђује неповратни вентил (2)
 - када се преко разводника хидроцилиндар споји са пумпом, уље ће у првом делу хода улазити кроз једносмерни вентил (2) без значајних губитака, попуњавајући комору (а)
 - пуни се комора (а) све док се чеп потпуно не извуче из рупе, и омогући директни доток флуида у клипну комору кроз простор (b)
-
- оба решења са пригушењем (чеп или пригушница) смањују брзину током пута L_2 , али је не могу потпуно елиминисати
 - постоји сила која гура клип унутра, постоји простор за протицање уља (зazor око чепа или проточни пресек пригушнице), што значи да ће клип смањеном брзином ипак ударити у дно хц. и тек онда се зауставити
 - крива (3в) на дијаграму

7.4 Заустављање хидроцилиндра

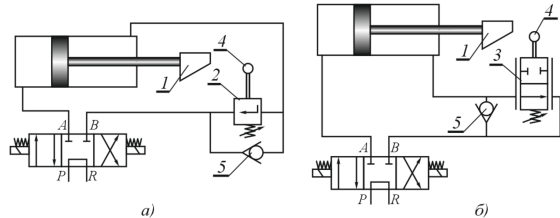
- као што показује крива (3в), механички удар ипак постоји, али је он значајно ублажен



- шта када је потребно **потпуно безударно заустављање**?
- зауставни ход клипа у том случају је на дијаграму приказан кривом (3б), а може се остварити на два начина:

(а) помоћу регулационог вентила

(б) помоћу пропорционалног разводника

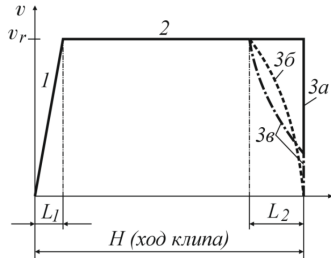


(а)

- При кретању клипа у десну страну, радни флуид из клипњачине коморе потискује се кроз регулациони вентил ка резервоару
- овај вентил стално отвореним држи опруга. Када при извлачењу клипњаче граничник са косом равни (1) потисне точић (4), он се помера према наниже, постепено затварајући вентил
- при доласку клипа до главе цилиндра, вентил је већ потпуно затворен, а клип је заустављен без удара
- када је потребно остварити повратни ход, уље пролази кроз неповратни вентил (5), заобилазећи затворени регулациони вентил

7.4 Заустављање хидроцилиндра

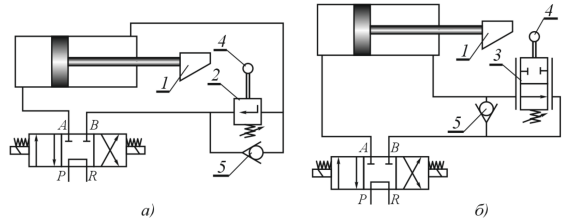
- као што показује крива (3в), механички удар ипак постоји, али је он значајно ублажен



- шта када је потребно **потпуно безударно заустављање**?
- зауставни ход клипа у том случају је на дијаграму приказан кривом (3б), а може се остварити на два начина:

(а) помоћу регулационог вентила

(б) помоћу пропорционалног разводника



(б)

- уместо регулационог вентила (2), користи се пропорционални разводник (3)
 - као и регулациони вентил, и овај разводник има својство да између два положаја (отворено и затворено) има бесконачно много међуположаја, при чему му проток који пропушта, зависи од хода клипа
 - принцип рада је исти као у претходном примеру
-
- на ова два начина остварено је потпуно безударно заустављање (пре удара клипа у дно/главу хц. проток се своди на нулу)