

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Примењена механика и аутоматско управљање
Предмет: Механика Флуида
Број индекса: 43/2013

Лука Љ. Обрадовић Компоненте уљно хидрауличког система

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Слободан Савић, ред. проф.-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- Прикупи и систематизује обимну литературу везану за хидрауличке компоненте које су сааставни део уљно хидрауличног система,
- На основу одговарајућих података из препоручене и друге литературе ове области прикаже и методолошки изложи најзначајније хидрауличне компоненте које чине незаобилазни и изузетно значајан сегмент скоро у свим областима технике,
- Прикаже одговарајуће хидрауличке шеме и
- Изложи основе одржавања хидрауличких система.

Препоручена литература

[1] Ж. Адамовић, М. Кутин, М. Пухарић, М. Адамовић, *Хидраулика и пнеуматика*, Институт ГОША, Београд, 2009.

[2] С. Јовановић, *Уљна хидраулика I део*, Техничка књига, Београд, 1979.

[3] В. Савић, *Уљна хидраулика*, Зеница, 1990.

Крагујевац, јун 2019.

Ментор:
Др Слободан Савић, ред. проф.

Изјављујем да сам овај завршни рад урадио самостално, служећи се литературом и својим стеченим знањем.

Лука Обрадовић 43/2013

Компоненте уљно хидрауличког система

Резиме

У оквиру овог завршног рада представљене су основне компоненте које скоро сваки уљно хидраулички систем треба да поседује. Дат је преглед хидрауличких пумпи као извршних органа, описани су хидраулични разводници и вентили, па затим извршни уређаји у које спадају и ротациони и линеарни хидраулички мотор. Такође је дат приказ основних подела хидрауличких шема, да би на крују било речи и о самом одржавању хидрауличких система.

Кључне речи: уљна хидраулика, хидраулички мотори, разводници, вентили, хидрауличке пумпе, одржавање хидрауличког система

Hydraulic system

Abstract

This bachelor's work presents the mean components of hydraulic system who use oil as working fluid. This paper also provides an overview of the hydraulic pumps as executive organs, and described hydraulic control valves and valves, then the executive device which includes a rotary and linear (cylinder) as a hydraulic motor, principal hydraulic division scheme, and at the end we'll see some topics on maintenance of hydraulic system.

Keywords: hydraulic system, hydraulic pumps, hydraulic control valves, rotary and linear hydraulics motors, maintenance of hydraulic system

Садржај:

Увод	1
1.0 Историјски развој и основне карактеристике	2
1.1 Уопште о хидраулици	3
1.2 Флуиди за уљно хидраулички систем	6
2.0 Физичка својства флуида	7
2.1 Маса и густина	7
2.2 Температура	8
2.3 Притисак	8
2.4 Непрекидност	9
2.5 Силе које делују на флуид	9
2.6 Стишљивост флуида	10
2.7 Хомогеност и изотропност флуида	12
2.8 Појам реалног и савршеног флуида	12
3.0 Примена пумпи и мотора	12
3.1 Проток и снага пумпе	13
3.2 Степен искоришћења пумпе	15
3.2.1 Утицај стишљивости радне средине и еластичних деформација делова пумпе на проток пумпе	15
3.2.2 Механички губици и степен искоришћења	16
3.3 Подела хидрауличких пумпи	17
3.3.1 Клипне пумпе и мотори	18
3.3.2 Радијалне клипне пумпе и мотори	18
3.3.2.1 Проток пумпе	20
3.3.3 Аксијалне клипне пумпе и мотори	20
3.3.3.1 Проток пумпи	22
3.3.3.2 Избор основних параметара	22
3.3.4 Зупчасте пумпе	25
3.3.5 Крилне пумпе	26
3.3.6 Завојне пумпе	27
4.0 Хидраулички мотори	28
4.1 Обртни хидраулички мотори	28
4.2 Хидроцилиндар	29
4.3 Закретни хидраулички мотор	30
4.3.2 Прорачун закретног мотора	32
5.0 Хидраулички разводници	32
5.1 Клипни разводници	33
5.2 Разводници са обртним кретањем разводног елемента	34
5.3 Плочасти разводници	34

6.0 Вентили	35
6.1 Вентил за ограничење притиска	35
6.2 Преливни вентил	36
6.3 Редоследни вентил	36
6.4 Вентил за растеређење пумпи	36
6.5 Регулатори притиска	37
6.6 Пригушни вентил	37
6.7 Вентил за регулисање протока	38
6.8 Неповратни вентил	39
6.8.1 Неповратни вентил са управљањем	39
6.8.2 Неповратни вентил са пригушењем	40
7.0 Помоћне компоненте	41
7.1 Резервоари	41
7.2 Филтери	42
7.3 Славине	43
7.4 Цевоводи и прикључни елементи	43
7.5 Хидраулички акумулатор	43
8.0 Типови хидрауличног система	45
9.0 Одржавање хидрауличких система	49
9.1 Инспекцијске активности	49
9.2 Активности одржавања	51
Закључак	53
Литература	54
Прилог	55

Увод

Од индустријске револуције, које се одвијала од краја 18. века па негде до средине 19. века, користиле су се механичке компоненте као главни употребни материјал. Са друге стране, још од појаве рационализма, и на пољу уљне хидраулике, долази до разних открића, чија ће практична употреба почети тек почетком 20. века, да би кулминацију ова научна дисциплина доживела после другог светског рата.

Овај завршни рад се значајно бави главним компонентама хидрауличног система без којих се не би могао замислити данашњи хидраулички систем. Прва глава даје кратак осврт на историјски развој ове врсте науке као и на неке њене основне ставке. Друга глава се више бави флуидом као предметом изучавања и у њој се описују неке основне одлике самог флуида. У трећој глави долазимо заправо до првих компоненти које ће овде бити изложене, а то су хидраулички мотори и пумпе. Затим су представљени разводни и регулациони елементи као и њихове поделе. На крају ће бити речи о пропратном прибору (резервоари, филтери, славине, цевоводи, цревоводи итд.) као неизоставном делу неког хидрауличног система.

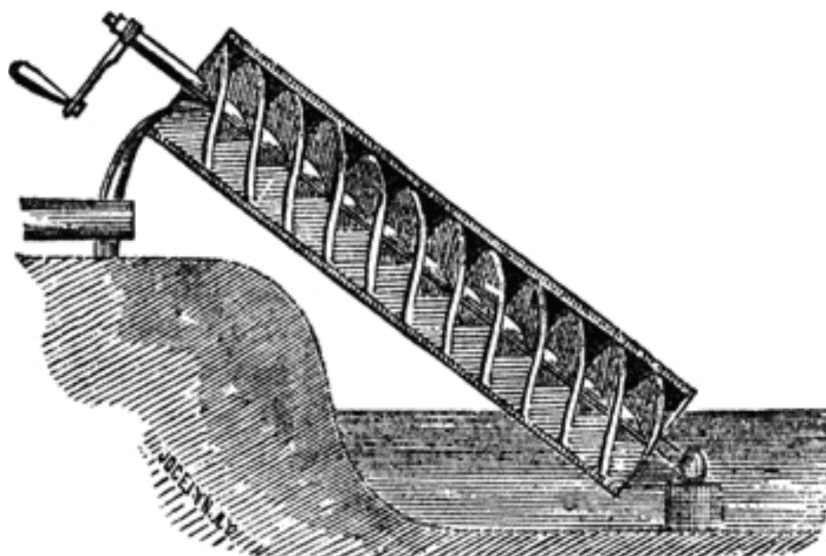
После класификација изложених компоненти, биће речи о њиховој практичној употреби у оквиру целине, хидрауличног система. Представљене су и основне шеме хидрауличног систем.

1.0 Историјски развој и основне карактеристике

Сама реч хидраулика потиче од грчке речи ὑδραυλικός (хидрауликос), која притом у себи садржи две речи ὕδωρ (хидро) која у преводу на српски језик значи вода и αὐλός (аулон) што значи цев. Из наведеног можемо закључити да је ова грана била позната људима још у античко доба, па из античке Грчке и Рима датирају први водоводи. Позната је чињеница да данашњи делови цевовода у Риму потичу још из доба антике. Археолошка истраживања која су вршена у Кини, Индији, Местопотамији и Египту потврђују да су тамо и пре пет хиљада година биле познате технологије везане за хидраулику па су тако грађена вештачка језера, канали, мехови за ливење и ковање, пумпе за воду, часовници и други објекти.

Развој хидростатике, везан је пре свега за грчког ерудиту Архимеда, који је, на захтев краља Хијерона II, морао да провери да ли је круна направљена од злата или сребра (које је јефтиније). Круна није смела да буде оштећена односно претопљена па изливена у неки правилни геометријски облик због лакшег израчунавања њене густине.

Архимед је приликом уласка у каду приметио да се ниво воде подиже еквивалентно његовој запремини па је на основу тога дошао до закључка да тако може да се измери и густина, тачније запремина круне. Легенда каже да је Архимед после овог открића истрачао го на улицу вичући „Еурека!“. Из ове анегдоте настала је чувена теорија која се назива закон о пливању тела (настала око 250 године пре н.е.). Архимед је и поред овог закона такође и омогућио транспорт воде са нижег на виши положај. Као што се може видети на слици 1, ова справа назива се Архимедов вијак [1].



Слика 1. Архимедов вијак [1]

У 17. веку француски научник Блез Паскал проналази закон о преносу притиска течности који данас представља основу преноса енергије помоћу флуида, а из поштовања према овом сјајном научнику јединица за притиска данас носи његово име. Пре њега овом тематиком се бавио Леонардо да Винчи, да би се касније, после Паскала, проблемима механике флуида бавили и други научници (Лајбниц, Њутн, Лагранж, Ојлер и други). За друге области хидромеханике, чије се законитости такође користе за конструкцију хидрауличких система, заслужни су Бернули, Д'Аламбер, Навије, Стокс, Рејнолдс, Коши, Лагранж, Лаплас као и многи други. Конструкција првог хидрауличног система позната је још из прве половине 17. века, када је Паскал открио рад хидрауличне пресе. Да би од његовог теоријског разматрања и тумачења могло да

дође до примене у пракси, требало је да прође скоро 150 година, тако да тек 1776. године Џозеф Браман израђује прву хидрауличку пресу. Да хидраулички систем нађе стварну индустријску примену требало је потом сачекати још 4 године, па је око 1880. године настао први лифт који је радио на хидраулични погон. То се десило када је дошло до испуњавања два кључна услова: захтев самог система који је требао да се конструише имао је бољу и ефикаснију примену код хидрауличног система наспрам механичког и развијена је потребна технологија, метода израде материјала за употребу компоненти као и њене обраде. Даљи развој хидраулике се може везати за 1900. годину, када американци Виијам и Џенис добијају своју прву компоненту, аксијалну клипну пумпу са девет клипова и померљивом плочом. Ова пумпа могла да је оствари притисак од 40 бара. Двадесетих година прошлог века настаје први аутомобил (Chrysler 70) који је први имао хидрауличне кочнице, да би се следеће године појавила прва индустријска хидраулична машина која је погонила колица којом се превозила глина у пећ за цигле. Године 1930. познати истраживач у области уљне хидраулике Томас дао је прву аксијалну клипну пумпу са променљивим пумпним телом (познати систем са карданским преносом). Овај принцип је касније усавршен и тако је дошло до клипно-аксијалних пумпи са везом у облику зглоба. Око 1940. године се ове и друге пумпе производе серијски у САД, Енглеској и Немачкој, а остварују се притисци од 200 бара.

Треба нагласити да током другог светског рата (а и касније) ваздухопловство даје снажан подстрек развоју уљне хидраулике и низ уређаја на авионима добијају команду и управљање преко уљно-хидрауличног система. После другог светског рата истраживање, развој и акумулирано искуство из ваздухопловства почиње се интензивно користити у примени уљне хидраулике на машинама алаткама, грађевинским машинама, моторним возилима итд. Може се рећи да је послератни период златан век уљне хидраулике у којем велике компаније широм света крећу да развијају и производе ове хидрауличке компоненте. Развој нових стандардизованих и нормираних компоненти од пумпе преко разводника и вентила до радних цилиндара, практично је омогућио примену у свим грана индустрије [2].

1.1 Уопште о хидраулици

Пре него што се хидраулика развила на тај ниво да је могла да има уплив у сваку грану индустрије, главни вид преноса енергије са једног места на други били су механички преносници преко зупчаника, полуга, вратила. То је био једноставни вид преноса који се могао примењивати код разних погона и машина. Међутим, како се техника развијала тако се и степен захтева повећавао у односу на: сложеност конструкције, тачност помака, брзину кретања, величину снаге и друго, а то механички преносници нису могли увек да задовоље. Ово нарочито долази до изражаја када је:

- растојање од извора енергије до места њеног коришћења велико,
- често променљив смер и правац кретања,
- непходно обезбедити континуално кретање,
- променљиво оптерећење и брзина кретања,
- мали габарити или мали простор на располагању и у низ других случајева.

Такве захтеве као и друге сложене захтеве, са успехом могу да реше преносници хидрауличне енергије, који се чешће називају: хидраулични системи или хидростатски преносници [2].

Део механике који проучава флуиде (течности и гасове) назива се механика флуида. Хидромеханика је једна од грана којом се бави механика флуида и она се дели на хидростатику (равнотежа течности) и хидродинамику (кретање течности), док се под појмом хидраулика подразумева део науке које се бави техничком применом горе поменутих области.

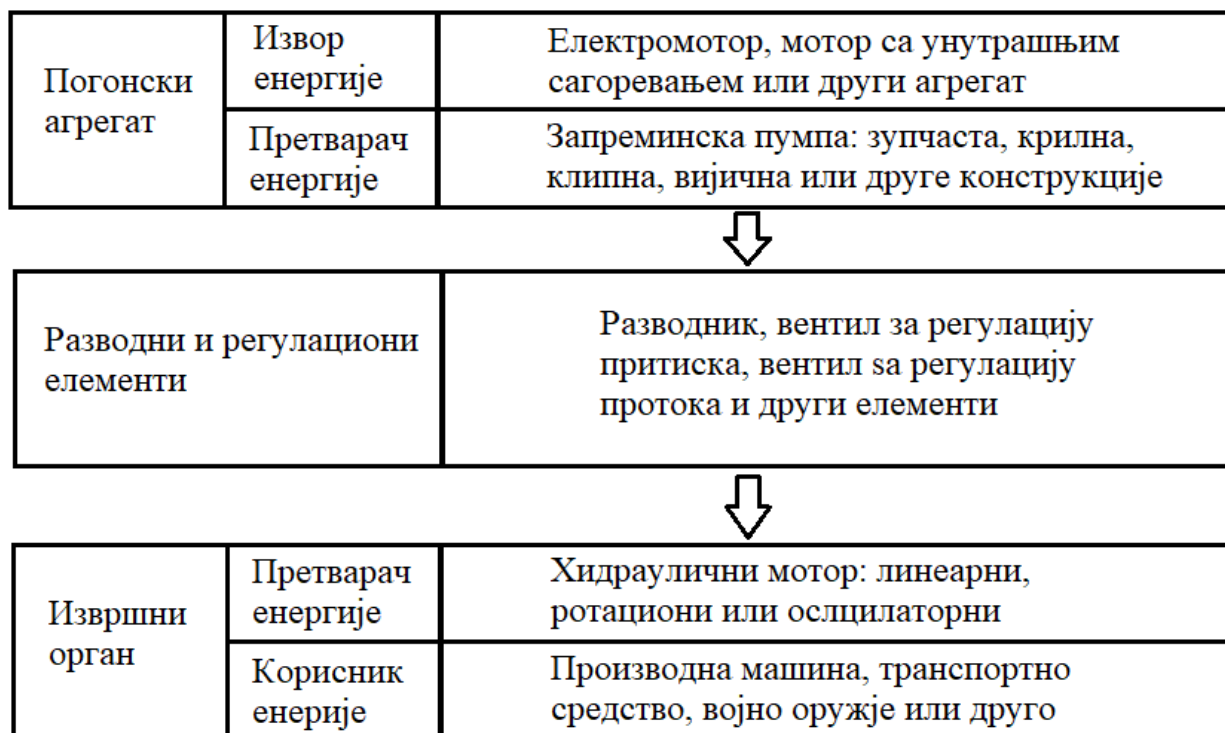
Под појмом класична хидраулика подразумевају се хидраулични системи комбиновани са компонентама код којих се довођење радних елемената из једног у други положај врши електро, хидрауличним, пнеуматским или механичким погоном. Сила померања и дужина хода радних елемената су најчешће сталне величине, иако су се уз развој аутоматике и серво система појавили елементи са променљивим величинама. Радни медији (течни флуиди) за овај тип хидраулике могу бити сви типови хидрауличних флуида (емулзија, синтетички флуид, минерално уље). Осим подела на класичну, пропорционалну и серво хидраулику, у стручној литератури је уобичајна подела хидрауличних система у две групе (у односу на врсту флуида који преноси хидрауличну енергију). То је уљна хидраулика, која као радни флуид користи минерално уље или синтетички флуид, и водена хидраулика која као радни флуид користи емулзију.

Уљно хидрауличка компонента је орган уљно-хидрауличног система који извршавају одређену функцију. Тако је уљно-хидрауличка пумпа уређај који обезбеђује притисак и проток уља, уљно-хидраулички радни цилиндар је извршни орган који обезбеђује потискивање, акумулатор-акумулирање енергије, разводник-упрвљање током уља итд.

Класификација и подела хидрауличких компоненти се може извршити на разне начине, па се тако и у литератури могу срести разне поделе, али најважнија подела, независно за служеност система, је следећа:

- погонски елементи (претвараач електричне, механичке или топлоте енергије у хидрауличку)
- разводни и регулациони елементи
- извршни органи (претвараачи хидрауличне у механичку енергију)

Постоји још једна подела коју треба поменути а то је подела по функцији самих компонената у систему. По тој поделом имамо да је свака група заправо функционална целина која има заједничку дефиницију и представља, у односу на посматрани систем, једну целину. Такође, унутар сваке функционалне групе може се извршити подела и на подгрупе, користећи било коју основу за поделу. Тако се може извршити подела према намени, протоку, притиску, конструктивној концепцији и слично. Као пример овде ћемо навести хидраулични мотор који се према притиску може поделити на моторе ниског, средњег и високог притиска, такође и према конструктивној концепцији на крилне, клипне, зупчасте итд. [3].



Слика 2. Блок шема хидрауличног система [2]

Принцип рада Хидрауличног система је следећи: у електромотору долази до конвертовања електричне енергије у механичку, док се код мотора СУС топлотна претвара у механичку. Енергија се преко одговарајућих елемената доводи до ротора пумпе, у коме се трансформише у хидрауличку. Помоћу течности (вода, синтетички флуид, емулзија или минерално уље) енергија се трансформише кроз цевоводе до хидрауличног мотора (линеарног, ротационог или осцилаторног), у коме се, опет, та хидрауличка енергија претвара у механичку, где се преноси и предаје извршном органу, најчешће кинематском механизму.

Уљна хидраулика је нашла широку примену у техничкој пракси.

Овде ће се дати само неколико карактеристичних области и примера примене:

- машине радилице и процеси у металопрерађивачкој индустрији
- пољопривредне машине
- грађевинске машине и процеси у грађевинству
- моторна возила и локомотиве
- бродоградња.

Примери примене уљно-хидрауличких система код машина радилица су: ручне пресе, пресе за извлачење, пресе за одсецање, специјалне машине за обраду блокова мотора, машине за обраду чланака гусеница код трактора, Ланија за обраду моторних делова итд.

Примери примене код пољопривредних машина су: системи за вешање помоћног алата на трактору, утоваривачи за пољопривредни трактор, трансмисија за трактор, систем комбајна, управљање одређеним компонентама, итд.

Код грађевинских машина примери примене су следећи: уљно-хидраулички системи багера, булдожера, утоваривача, скрепера, ваљка, мешалица за бетон, итд.

Моторна возила имају различите практичне примене уљно-хидрауличног блока као што су систем за хлађење мотора СУС, управљање трансмисијом локомотива, дизалица за утовар/истовар на моторном возилу, на виљушкар, итд.

И на крају, практични примери примене у бродограђи су: уљно-хидраулички систем за кормиларење, за отварање и затварање бродских гаражних врата, промену смера мотора, на танкерима за аутоматски истовар и утовар, бродске дизалице, дизање и спуштање командног моста, итд [2,3].

1.2 Флуиди за уљно-хидрауличке системе

Уље има веома два значајна задатка у систему. Први је да преноси снагу путем цевовода и цреповода а други је да подмазује покретне делове датог система. Стога је утицај избора флуида као медијума који се употребљава у систему за његов рад веома велики. Уље чини искључиви флуид који се користи у хидрауличним системима за пренос снаге, који се примењује у процесу механизације и аутоматизације, али такође треба узети у обзир да поред уља у неким случајевима може доћи и до коришћења воде, водене емулзије и синтетичких течности.

Радне флуиде који се користе у хидрауличним системима можемо поделити на три групе, и то следеће:

- минерална уља (уљана хидраулика)
- синтетичка уља (незапаљива уља)
- вода и водене емулзије.

Основне карактеристике које треба да поседује уље које се користи у оваквом систему су следеће:

- отпорност према мешању са водом (услед влажног вазуха који доспе у резервоар може се појавити вода, па се тако нека уља могу претворити у емулзију)
- појава пене (вискозна уља имају особину да се у већини случајева не појављује пена, али зато код мање вискозних може доћи до стварање пене која се теже уклања, а која може нанети озбиљне последице систему)
- отпорност према корозији
- мазивост (уље сем своје карактеристике преноса снаге има и улогу подмазивања)
- хемијска стабилност (ово је веома важна карактеристика јер ако дође до декомпозиције или разједињавања уља, могу настати сметње при самом раду система).

Минерална уља се углавном добијају рафинисањем нафтних деривата, па су самим тим и запаљива - ова карактеристика може довести до тога да у случају достизања температуре паљења или самомаљења дође до хаварије. Постоје две врсте синтетичких уља (незапаљивих уља) - она која се састоје од 35% и 50% воде. Остатак чине одговарајући додаци естера фосфорне киселине.

Неки од синтетичких флуида имају много боље особине у смислу века трајања (10 до 20 пута дужи), чиме се компензује њихова већа цена. Такође, синтетичка уља су се показала бољим и у погледу помазивања, па тако ова уља могу смањити настајање

хабања и до 50 %. Код минералних уља морају се додати одређени адитиви који негативно утичу на век трајања. Важно је да се при употреби синтетичког уља мора водити рачуна да радна температура не пређе 60° C, јер ће у противном доћи до испарења воде. Такође синтетичка уља која садрже естер, нагризају гуму и самим тим се заптивци од гуме морају заменити неким другим материјалном (неопрен, тефлон, силикон). Ова карактеристика може бити и погубна код хидрауличних пумпи или неких других елемената који имају специјалне заптиваче од гуме, који су тешко заменљиви [2,3].

2.0 Физичка својства флуида

2.1 Маса и густина

Узимајући у обзир да се под флуидом подразумевају непрекидне материјалне средине које се налазе у течном или гасовитом стању, јасно је да флуиди као такви поседују извесне физичке особине које их раликују од осталих непрекидних материјалних средина.

За флуид кажемо да представља материјалну средину која се састоји од непрекидно распоређених флуидних делића. Према својој дефиницији, флуидни делићи имају инфинитезималну запремину, а могу бити произвољног облика.

Укупна маса m флуида садржаног у запремини V једнака је збиру маса dm флуидних делића и непрекидна је функција запремине, односно:

$$m = \int_V dm \quad (1)$$

Маса флуида запремине V не зависи од облика површи која ограничава ту запремину, нити од промене тог облика током времена. Ако је m маса флуида запремине V , тада количник:

$$\rho_{sr} = \frac{m}{V} \quad (2)$$

представља средњу густину флуида садржаног у коначној запремини V . Средња густина флуида није функција положаја, већ је везана за коначну запремину и можемо је интерпретирати као масу јединице запремине флуида.

Односно, густина је:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \quad (3)$$

Густина ρ флуида има, у општем случају, различите вредности у различитим тачкама флуида и различитим тренуцима времена, тј. функција је положаја и времена, па представља поље скаларне величине:

$$\rho = \rho(x, y, z, t) \quad (4)$$

где су x, y, z - координате тачака флуида у Декартовом координатном систему. Укупна маса флуида задржаног у запремини V је:

$$m = \int_V \rho dV \quad (5)$$

У различитим тачкама флуида густина може имати различите вредности, а у једној фиксној тачки може имати различите вредности у различитим тренуцима времена. Међутим, када густина има исту вредност у свим тачкама флуида и у свим тренуцима времена, за флуид кажемо да је нестишљив а да је струјање стационарно. [3,4].

2.2 Температура

Температура је величина стања, која је пропорционална средњој кинетичкој енергији великог броја молекула.

Температура се не може мерити непосредно, јер би то значило мерење кинетичке енергије сваког молекула, већ се за посредно мерење температуре, мери одређена величина (карактеристика) система, која зависи од температуре [5].

2.3 Притисак

Услед непрекидног сударања молекула са стварном (зид) или замишљеном површином, настаје промена количине кретања, односно сила. Ова сила по јединици површине стварне површине (зида) или замишљене површине у некој тачки идентификује се као макроскопски притисак. Према томе, на чврстим површинама које обухватају посматрану масу флуида, сила притиска флуида (акција) је управна на површину и усмерена ка површини [6], односно једначина гласи:

$$d\vec{F} = d\vec{P} = -p \cdot d\vec{A} \quad (7)$$

Где је $d\vec{F} = d\vec{P}$ – елементарна сила притиска p флуида, а $d\vec{A}$ је усмерена елементарна површина. Знак минус показује да су $d\vec{A}$ и $d\vec{P}$ супротни вектори.

Притисак постоји у флуиду, било да флуид мирује, било да се креће. Зато треба правити разлику између ова два случаја. Притисак при мировању означава се као статички притисак. Сила изазвана статичким притиском има два важна својства:

- увек је нормалан на сваку стварну или замишљену површину у флуиду, и
- вредност јој је иста без обзира како је површина оријентисана.

Основна мерна јединица за притисак је паскал али такође је прихваћена и јединца бар.

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (8)$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \quad (9)$$

2.4 Непрекидност

У хидраулици, као и у механици крутог тела, претпоставља се да је материја непрекидно распоређена у простору који заузима. Ова претпоставка се не коси са теоријама о молекуларном саставу материје, јер одређена запремина флуида садржи тако велики број молекула да се практично може сматрати да у флуидном простору нема празнина.

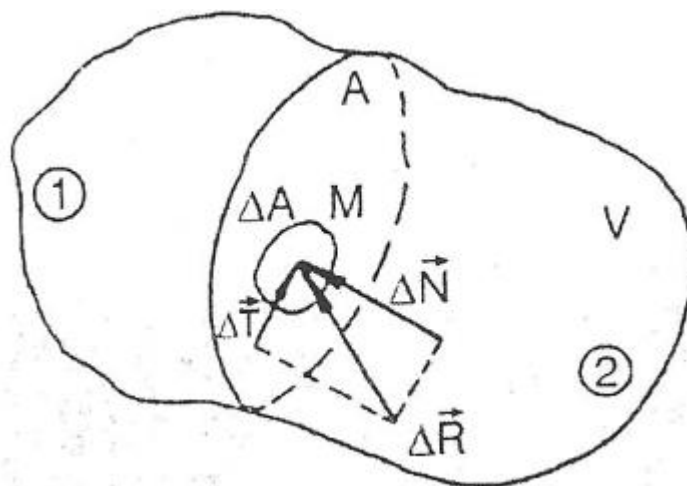
Предпоставља се, дакле, да је распоред делића флуида такав, да се у простору где се тај флуид налази, не јављају празнине. Разне физичке величине као што су густина, брзина, притисак итд. постају сада функције координата тачака у простору и мењају се непрекидно од тачке до тачке, уколико у флуидном простору нема неких изузетних места (сингуларитета).

2.5 Силе које делују на флуид

Флуидну масу у некој запремини нападају разне силе. То су пре свега силе које делују и у механици крутог тела. Ове нападају сваки флуидни делић у посматраној запремини, без обзира да ли је та запремина осамљена или се граничи са флуидом. Такве силе се називају запреминске или спољашње. Оне се увек односе на јединицу масе. Ако се сила по јединици масе означи са $\vec{F}$, онда елементарна маса dm флуидног делића трпи укупну силу $\vec{F} dm$, а како је $dm = \rho dV$ биће:

$$\vec{F} \cdot dm = \rho \cdot \vec{F} \cdot dV. \quad (10)$$

Међутим, постоје и друге силе. Да би се то показало, треба уочену запремину V , коју испуњава флуид, поделити на делове 1 и 2 који су раздвојени заједничком површи (Слика 3.) [6].



Слика 3. Силе које деују на флуид [6]

Нормални и тангенционални напон су:

$$\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta A} = p, \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta A} = \tau, (\tau \text{ тангенцијални напон}) \quad (11)$$

Да би се добила елементарна сила притиска $d\vec{P}$, која делује на површински елемент $d\vec{A}$ потребно је помножити притисак p управљаним елементом $d\vec{A}$:

$$d\vec{P} = -p \cdot d\vec{A} \quad (12)$$

2.6 Стишљивост флуида

Сваки флуид под дејством спољашњих сила мења своју запремину што значи да су течности стишљиве. Међутим, та стишљивост је практично врло незнатна, тако да се у пракси може занемарити. Занемаривањем утицаја стишљивости течности у хидраулици, долази се до појма нестишљиве течности, слично као што су у механици крутих тела уводи појам крутог чврстог тела, тј. тела које се не деформише под дејством спољашњих сила.

Дакле, стишљивост је особина течности да мења своју густину при промени притиска и (или) температуре.

Стишљивост течности при промени притиска карактерише коефицијент релативне запреминске стишљивости S који представља релативно смањење запремине течности $(\Delta V / \Delta V_1)$ по јединици промене притиска (Δp) :

$$S = \frac{\frac{\Delta V}{V_1}}{\Delta p} = \frac{1}{p_1} \cdot \frac{\Delta}{V_1} \quad (13)$$

или

$$\Delta V = S \cdot \Delta p \cdot V_1 [m^3] \quad (14)$$

где су:

$\Delta p = p_2 - p_1$ – промена (прираштај) притиска који делује на течност,

$\Delta V = V_2 - V_1$ – промена запремине течности при промени притиска,

V_1 и V_2 - почетна запремина течности при почетном притиску и запремини при промени Δp .

При прираштају радног притиска за Δp првобитна запремина течности смањиће се за ΔV , па ће нова запремина течности бити:

$$V_2 = V_1 - \Delta V = V_1(1 - S \cdot \Delta p) [m^3] \quad (15)$$

Реципрочна вредност коефицијента запреминске стишљивости S назива се модул еластичности течности:

$$E = \frac{1}{S} [N/m^2] \quad (16)$$

односно

$$E = \rho \cdot \frac{dp}{d\rho} \quad (17)$$

Модул еластичности течности E мења се зависно од типа течности, притиска и температуре.

Стишљивост при промени температуре карактерише *коефицијент релативне стишљивости* S_t , који представља релативно повећање запремине течности ($\Delta V/V_1$) по јединици промене температуре (ΔT):

$$S_t = \frac{\Delta V/V_1}{\Delta T} = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta V}{V_1} [K^{-1}] \quad (18)$$

или

$$\Delta V = S_t \cdot \Delta T \cdot V_1 [m^3]. \quad (19)$$

при томе су:

$\Delta T = t_2 - t_1$ – промена (прираштај) температуре течности,

t_1 и t_2 – почетна и крајња температура течности.

При прираштају температуре за ΔT првобитна запремина течности повећаће се за ΔV , па ће нова запремина течности бити:

$$V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 \cdot (1 + S_t \cdot \Delta T) [m^3] \quad (20)$$

2.7 Хомогеност и изотропност флуида

У хидраулици се полази од претпоставке да је маса течности у потпуности хомогена и изотропна. То, у ствари, значи да се у пракси проучавају и примењују закони о мировању и кретању таквих течности код којих су физичка својства сваког делића течности у укупној маси и у свим правцима једнаки.

2.8 Појам реалног и савршеног флуида

Стварни (реални) флуид одликује се низом физичких особина, које би својим присуством стварале тешкоће при проучавању и утврђивању одређених закона о мировању а нарочито о кретању течности. Исто би тако њихово присуство при решавању практичних задатака из области хидраулике компликовало саме методе решавања.

Због тога се у практичној примени уводи појам *савршене течности*. То је *замисљена течност*, која је хомогена и изотропна, није стишљива и није вискозна (нема трења).

При решавању практичних примена код којих се занемарује вискозност, може се доћи до осетних разлика у односу на стварно стање. Због тога се уводе разни корективни фактори, добијени на бази лабораторијских експеримената или на бази посматрања реалних услова кретања течности [2].

3.0 Примена пумпи и мотора

Пумпа је основни агрегат хидрауличног система који механичку енергију погона (улазног кола) претвара у енергију течности.

У раду ће се разматрати само хидропумпе (запреминске), које претварају механичку енергију доведену на улазно вратило у енергију кретања течности под притиском. На тај начин до потискивања течности из радних комора и пуњења усисних комора хидропумпе долази због смањивања и одговарајућег повећања геометријске запремине ових мотора.

Хидромотор претвара енергију струје течности у механички рад излазног елемента (вратила и клипаче), при чему се под запреминским хидромотором подразумева, у општем случају, хидромотор са кружним или праволинијским кретањем, у коме се претварање енергије струје течности остварује у процесу кретања радног елемента (клипа, плоче, итд.) под дејством сила притиска, при пуњењу радне коморе течностима.

Запремински хидромотори углавном се деле на две групе: радне цилиндричне, који развијају механичку енергију при транслаторном кретању, и хидромоторе, код којих се енергија струје течности претвара у механичку енергију обртног кретања вратила.

Основни процес у раду пумпе су усисавање и сабијање. У процесу резервоара радни органи пумпе стварају разлику притиска између притиска у резервоару са

течношћу и притиска у усисним коморама пумпе, под чијим дејством течност пуни њене радне коморе. Процес сабијања своди се на потискивање течности радним органима пумпе, при чему се течности предаје нека резерва енергије која обезбеђује довођење течности под потребним притиском потрошачу [7].

Способност усисавања пумпе карактерише се такозваном вакууметричком висином усисавања:

$$H_u = \frac{p_o - p_u}{\gamma} [m] \quad (21)$$

где је:

p_o – притисак изнад слободног ниво течности у резервоару из кога пумпа добија течност [Pa],

p_u – притисак течности у усисној комори пумпе [Pa].

Величине p_u у било ком пресеку усисног ценовода, укључујући и коморе пумпе, треба да је већа од притиска p_t – засићених пара течности, тј. притиска при коме почиње процес образовање паре (кавитација) течности при датој температури.

3.1 Проток и снага пумпе

Протоком пумпе назива се запреминска или тежинска количина течности коју даје пумпа у јединици времена.

Разликује се прорачунски (теоретски) и стварни (корисни) проток пумпе.

Теоретски проток ротационе пумпе је укупна промена запремине радних комора у јединици времена, или производ радне запремине пумпе и броја обртаја вратила у јединици времена, при чему се под радном запремином ротационе пумпе (или хидрауличког мотора) подразумева укупна промена запремине радних комора при једном обртају вратила. Према томе, радна запремина ротационе пумпе је њен теоретски проток на један обртај вратила [6].

Полазећи од овога, минутни теоретски проток хидропумпе може се одредити по формули:

$$Q_r = q \cdot n = w \cdot z \cdot n \left[\frac{m^3}{min} \right] \quad (22)$$

где су:

q – радна запремина пумпе [m^3]

w – радна запремина пумпе једне коморе [m^3]

z – број комора

n – број обртаја вратила у минути [min].

Радна комора пумпе (или хидраулички мотор) је изоловани простор који образују делови пумпе, чија се запремина периодично повећава и смањује при раду пумпе, и који је наизменично у вези са усисним или потисним водом.

Теоретска (индикаторска) снага пумпе, под којом се подразумева снага еквивалентна теоретском протоку пумпе (Q_T у m^3/min) при датом паду притиска (Δp у Pa), износи:

$$N_T = \Delta p \cdot q \cdot n = Q_T \cdot \Delta p \left[\frac{Nm}{min} \right]. \quad (23)$$

Веза између теоретског моментна M_T на вратилу пумпе (или хидрауличног мотор) и њене радне запремине q изражена је једначином:

$$M_T = \frac{\Delta p \cdot q}{2\pi} = 0,159 \cdot \Delta p \cdot q [Nm] \quad (24)$$

односно,

$$M_T = 0.159 \frac{\Delta p \cdot Q_T}{n} [Nm]. \quad (25)$$

У димензијама које су уобичајне у пракси, теоретска снага N_T и теоретски торзиони момент M_T могу се изразити једначином:

$$N_T = \frac{\Delta p \cdot Q_T}{60} [W]. \quad (26)$$

Стварним протоко пумпе назива се проток течности конкретне пумпе при одређеним вредностима притиска и вискозитета течности, број обртаја пумпе и осталих параметара који утичу на запреминске губитке течности у пумпи. Величина овог протока биће мања од теоретског протока за величину испуреле течности.

Основни губитци, који се у пракси обично називају губицима при усисавању или условно цурење, јесте непотпуно испуњење радних комора пумпе течношћу, проузроковано отпором усисног вода (магистрале) и присуством ваздуха у механичкој смеси са течношћу. Ови губици могу бити изазвани и деформацијом комора пумпе и сабијањем течности у некорисном простору.

Стварни проток пуме Q_p може се изразити једначином:

$$Q_p = Q_T - \Delta Q_p \quad (27)$$

где су:

Q_T – теоретски проток

ΔQ_p – испурела течност.

3.2 Степен искоришћења пумпе

Запременски степен искоришћења показује колико се стварни проток пумпе разликује од теоретског, а механички степен искоришћења показује колико се одведена снага разликује од доведене.

Теоретски проток одређује се рачунским путем, или се мери при лаганом обртању ($n = 20 - 30 \text{ min}^{-1}$) пумпе, при нултом паду притиска течности између улазне и излазне коморе и нултој разлици нивоа течности у усисном и повратном резервоару.

Запремински степен искоришћења пумпе дат је изразом:

$$\eta_{vp} = \frac{Q_p}{Q_T} = 1 - \frac{\Delta Q_p}{Q_T}. \quad (28)$$

3.2.1 Утицај стишљивости радне средине и еластичних деформација делова пумпе на проток пумпе

Величина условног цурења, а према томе и проток пумпе и њен запремни степен искоришћења, у знатној мери зависи (нарочито при високим притисцима) од еластичности радне средине (течности), крутости и конструктивних особина пумпе, нарочито од величине њеног некорисног простора.

Узимајући у обзир сабијање течности у некорисном простору и величине деформација њених комора, рачунски израз за израчунавање запреминског степена искоришћења имаће облик:

$$\eta_v = 1 - p_p \cdot (r - 1) \cdot (\beta + \delta) \quad (29)$$

где су:

$r = \frac{b+c}{b}$ – запремину коју опише један потискујући елемент за један ход,

c – запремина некорисног простора једне радне коморе (цилиндра) пумпе,

β – коефицијент који карактерише промену јединице запремине некорисног простора при промени притиска за један паскал,

δ – средња вредност коефицијента стишљивости, при повећању притиска за један паскал.

Код типичних ротационих клипова клипних пумпи и хидромотора однос некорисног простора c и корисне (радне) запремине b износи:

$$r = \frac{b+c}{b} \approx 1,2 \div 1,4. \quad (30)$$

При експлоатацији пумпи са великим вредностима r и δ треба употребљавати течност са минималним коефицијентом запреминске стишљивости β .

Пошто величина параметра r зависи од вредности запремина b и c , при регулисању протока пумпе промена радног хода клипа, мењаће се запремински степен искоришћења.

3.2.2 Механички губици и степен искоришћења

Стварни торзиони момент на вратилу пумпе $M_{\text{пог},p}$ или мотора M_{ef} , тј. торзиони момент потребан за погон пумпе или мотора, износи:

- за пумпе

$$M_{\text{пог},p} = M_{T,p} + \Delta M_p \quad (31)$$

- за мотор

$$M_{\text{ef}} = M_{T,m} - \Delta M_m, \quad (32)$$

где су:

$M_{T,p}$ и $M_{T,m}$ – теоретски (индикаторски) торзиони моменат пумпе и мотора,
 ΔM_p и ΔM_m – губици момента у пумпи и мотору, проузроковани механичким трењем и вискозним отпором обртања ротора (цилиндарског блока), као и хидрауличним губицима.

Теоретским или индикаторским моментом назива се момент који проузрокује притисак течности у радним коморама, без урачунавања губитка због механичког трења и губитка због вискозног отпора течности.

Механички губици снаге могу се, такође, одредити као разлика између теоретске снаге и снаге на вратилу агрегата [6].

За пумпу они ће износити:

$$\Delta N_p = N_{\text{пог}} - N_{T,p}, \quad (33)$$

а за мотор:

$$\Delta N_m = N_{T,m} - N_m \quad (34)$$

где је:

$N_{\text{пог}}$ – снага на вратилу пумпе (погонска снага),
 N_m – снага на вратилу мотора (ефективна снага мотора),
 $N_{T,p}$ и $N_{T,m}$ – теоретска снага пумпе и мотора,
 ΔN_p и ΔN_m – механички губици снаге пумпе и мотора.

Механички степен искоришћења пумпе износи:

$$\eta_{meh.p} = \frac{N_{T.p}}{N_{pog.p}} = 1 - \frac{\Delta N_p}{N_{pog.p}} \quad (35)$$

или

$$\eta_{meh.p} = \frac{M_{T.p}}{M_{pog.p}} = 1 - \frac{\Delta M_p}{M_{pog.p}}, \quad (36)$$

где су

$N_{T.p}$ – теоретски момент на вратилу пумпе

$M_{T.p}$ – момент на погонском вратилу.

Механички степен искоришћења хидромотора је:

$$\eta_{meh.m} = \frac{N_{ef}}{N_{T.m}} = 1 - \frac{\Delta N_m}{N_{T.m}}, \quad (37)$$

или

$$\eta_{meh.m} = \frac{M_{ef}}{M_{T.m}} = 1 - \frac{\Delta M_m}{M_{T.m}} \quad (38)$$

где су: M_{ef} – величина ефективног (кочионог) момента, одређена експерименталним путем

$M_{T.m}$ – величина теоретског момента.

Укупни степен искоришћења пумпе или мотора је производ запреминског η_v и η_{meh} степена искоришћења.

$$\eta_u = \eta_v \cdot \eta_{meh}. \quad (39)$$

3.3 Подела хидрауличких пумпи

У хидраулици, како је раније речено, пумпе имају задатак да обезбеде струјање течности под притиском, односно да потискују запремину течности. Пумпа усисава течност (најчешће из резервоара) и потискује је ка излазу из пумпе. Одаткле, течност доспева у систем, преко појединих управљачких елемената све до потрошача. Потрошач представља за течност неки отпор, нпр. цилиндар за дизање терета.

Према овом терету створиће се одговарајући притисак у течност, који ће тако расти све док се не савладају потребне силе отпора.

Притисак се у неком хидросистему не ствара у пумпи и на самом почетку рада већ тек онда када настану отпори. Дакле, притисак је зависан од отпора који се супростављају стујању течности.

Хидрауличне пумпе се обично деле на две групе

- обртно-ротирајуће и
- клипно-осцилирајуће.

3.3.1 Клипне пумпе и мотори

Клипне пумпе имају радне органе израђене у облику клипова који се крећу у цилиндричним шупљинама (цилиндрима), смештеним у цилиндарском блоку.

Ручне пумпе су најједноставније клипне пумпе, којима се могу остварити и високи притисци али које имају мали проток.

Клипне пумпе се често израђују са могућношћу регулисања протока. Протоком пумпи може се управљати на више начина:

- ручно управљање,
- електрохидраулично управљање
- хидраулично серво-управљање
- аутоматско управљање по радном притиску.

У савременим хидрауличким сиситемима високог притиска примењују се претежно ротационе клипне пумпе и хидромотори.

У ротационој клипној пумпи радни органи израђени су у облику клипова, а запремине које се истискују затварају се потискујућим елементима у цилиндричне шупљине обртног ротора (цилиндриског блока).

Разликују се:

- радијалне ротационе клипне пумпе – са радијално постављеним цилиндрима у односу на осу обртања ротора и
- аксијалне ротационе клипне пумпе – са аксијално постављеним цилиндрима у односу на осу обртања цилиндарског блока (где се кретање клипова врши помоћу плоче нагнуте у односу на ротор).

Код првих пумпи клипови се крећу у једној равни, а код других у простору.

И прве и друге пумпе израђују се у варијантама са и без регулације протока. Аксијалан положај клипова погоднији је за високе брзине и мале торзионе моменте, а радијалан за веће торзионе моменте и мале брзине.

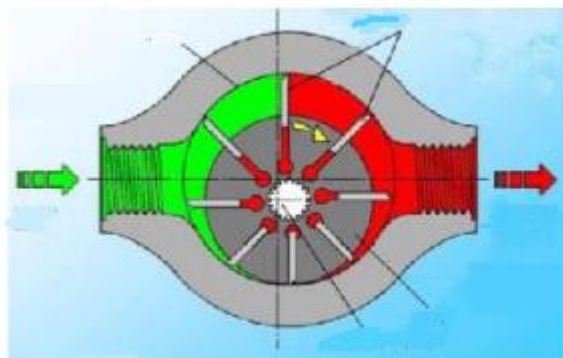
Аксијалне пумпе средње снаге (10-15 kW) имају, у поређењу са радијалним, веће погодности у погледу масе. Њихова маса, при једнаким радним условима, мања је од масе радијалних пумпи око 2 пута [2].

3.3.2 Радијалне клипне пумпе и мотори

У овим пумпама цилиндри су распоређени радијално у односу на осу обртања ротора, при чему се осе цилиндара налазе у истој равни и секу у истој тачки (Слика 4.).

Разликују се две основне врсте: пумпе са ротором и пумпе са ексцентром. Пумпе са ротором имају цилиндри радијално распоређене у ротору, који је ексцентрично постављен у односу на статор. Приликом обртања ротора клипови врше трансляторно кретање. Радна течност се најчешће разводи помоћу разводног вентила. Профил статора је најчешће кружног облика. Већина ових пумпи није самоусисавајућа, него

морају имати и помоћну пумпу за напајање, или се пак резервоар мора поставити изнад пумпе, тако да се обезбеди довољан притисак течности на уписном отвору пумпе.



Слика 4. Шема радијалне клипне пумпе



Слика 5. Радијална клипна пумпа са ексцентром

Пумпе са ексцентром имају радијално распоређене цилиндри у статору, а ексцентар на погонском вратилу покреће транслаторно клипове у току свог обртања (Слика 5.). Течност се најчешће разводи помоћу вентила постављених у сваком цилиндру.

У радијалним клипним пумпама цилиндри се постављају у облику звезде при чему се њихове осе налазе у истој равни и секу у једној тачки [2, 3].

Цилиндри пумпе и мотора могу бити распоређени у неколико (од два до шест) низова и захваљујући томе може се постићи висок проток пумпе или велики торизиони момент на вратилу хидромотора. Број клипова z и низова z_n клипова обично се узима у зависности од протока пумпе Q и износи:

$$\begin{aligned} \text{за } Q \leq 100 \text{ } 1/\text{min} \quad & z = 14 \div 21, \quad z_n = 2 \div 3; \\ \text{за } 100 < Q \leq 200 \text{ } 1/\text{min} \quad & z = 36 \div 54, \quad z_n = 2 \div 3; \\ \text{за } 200 < Q \leq 400 \text{ } 1/\text{min} \quad & z = 54 \div 72, \quad z_n = 3 \div 4; \end{aligned}$$

У једном низу обично се поставља од 5 до 13 цилиндра.

3.3.2.1 Проток пумпе

Теоретски проток пумпе једнак је запремини коју описују њени клипови и износи

$$Q_T = qn \frac{\pi d^2 h z n}{4} = \frac{\pi d^2 e z n}{2} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (40)$$

где је:

q – радна запремина пумпе $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

d – пречник цилиндра $[m]$

h – ход клипа $[m]$

z – број клипова (цилиндра)

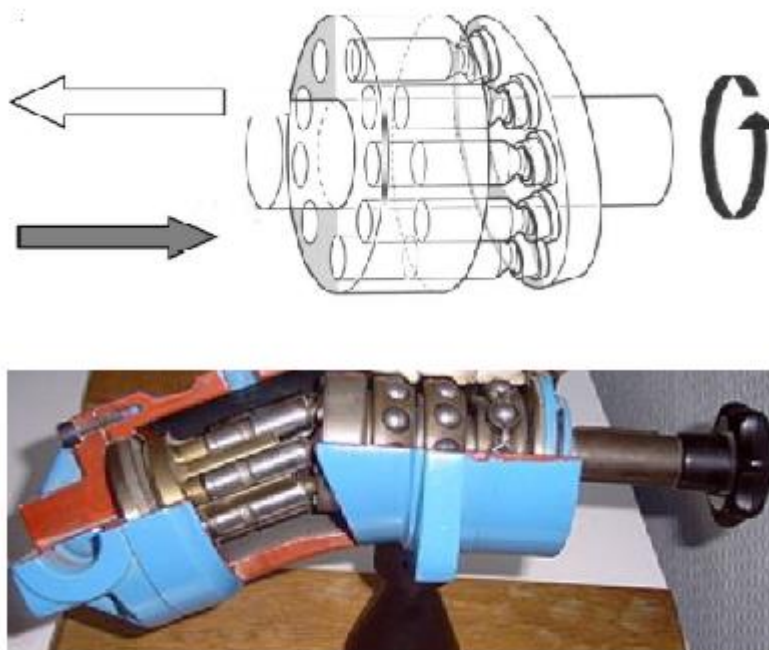
e – ексцентрицитет пумпе $[m]$

n – број обртаја у секунди.

3.3.3 Аксијалне клипне пумпе и мотори

Ове пумпе и мотори се могу поделити на две основне групе:

1. Клине пумпе са косом плочом (Слика 6.а) – аксијалне клипне пумпе код којих се оса цилиндарског блока поклапа са осом улазног (погонског) вратила.
2. Клипне пумпе са косо постављеним цилиндарским блоком (Слика 6.б) – аксијалне клипне пумпе код којих се оса улазног вратила поклапа са осом косе плоче.



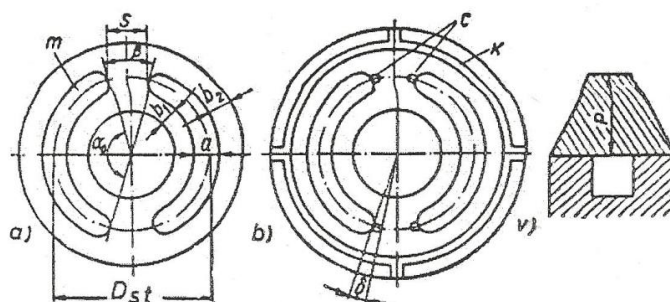
Слика 6. Шематски приказ аксијалних клипних пумпи [6, 9]

Код пумпи прве групе, коса плоча описује трајекторију у облику осмице, док код пумпи друге групе кретање плоче врши се по кругу у равни нормалној на осу погонског вратила.

Код већине конструкција оваквих пумпи цилиндарски блок се обрће тј. цилиндри се крећу у односу на тело, што омогућује једноставно развођење течности, које се обично врши кроз отворе у облику српа у телу (Слика 7.) и отворе пречника у цилиндарском блоку (Слика 6.).

Проток пумпе регулише се променом угла нагиба осе плоче у односу на осу цилиндарског блока, што се врши или променом положаја цилиндарског блока, при непромењеном положају осе косе плоче.

Аксијалне пумпе са разводном плочом омогућују да се израде усисни канали већих димензија него код радијаних пумпи са разводним рукавцима и зато дозвољавају веће бројеве обртаја. У складу с тим, маса аксијалних пумпи са разводном плочом по јединици снаге обично је 2–3 пута мања од масе радијалних пумпи [8].



Слика 7. Шема чеоног разводног диска аксијалне клипне пумпе [6]

3.3.3.1 Проток пумпи

Теоретски проток пумпи може се приближно израчунати из израза:

$$Q_r = qn = \frac{\pi d^2 z n D \tan \gamma}{4} \left[\frac{cm^3}{min} \right] \quad (41)$$

где су:

d и z – пречник и број цилиндра

D – пречник круга на коме су распоређени центри цилиндара.

Ако се претпостави да се осе клипњача поклапају са осама цилиндара, пречник D постаће пречник круга тачака додира клипњаче са косом плочом.

Горњи израз тачан је само у случају ако је угао γ једнак нули, док ће се у осталим случајевима осе преносоних полуга налазити под неким углом у односу на осе цилиндара. Ако се узме у обзир да угао γ не премашује 30° , грешка проузрокована овим допуштењем је релативно мала [6].

Тренутни проток који остварује клип у сваком тренутку је:

$$q = V_r f = \frac{R \omega \cos \beta \sin \alpha \pi d^2}{4}. \quad (42)$$

Укупан проток који остварују клипови свих цилиндара који се налазе у радном простору износи:

$$Q = q_1 + q_2 = R \omega f \cos \beta \sin \alpha_1 + R \omega f \cos \beta \sin \alpha_2 + \dots = R \omega f \cos \beta \sum \sin \alpha \quad (43)$$

где су: $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ – обртни углови цилиндара у односу на неутарлни (мртви) положај.

3.3.3.2 Избор основних параметара

Пречник клипа d пумпе се израчунава по формули

$$d = \sqrt[3]{\frac{4q}{\pi \lambda}}, \quad (44)$$

где су:

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{\pi d^2}{4} \cdot h_{max} - \text{радна запремина једног цилиндра,} \\
 d &\quad - \text{пречник клипа,} \\
 h_{max} &\quad - \text{максимални ход клипа,} \\
 \lambda &= \frac{h_{max}}{d} = 1 \div 2.
 \end{aligned}
 \tag{45}$$

За прорачун пречника клипа хидромотора, полазећи од његовог теоретског протока по обртају Q_t (m^3) и торзионог момента M_t (Nm), користи се израз:

$$d = (1.4 \div 1.5) \sqrt[3]{\frac{Q_t}{z^2 \tan \gamma \eta_z}} [m]
 \tag{46}$$

при чему су:

γ – угао нагиба плоче,
 z – број клипова,
 η_z – запремински степен искоришћења мотора.

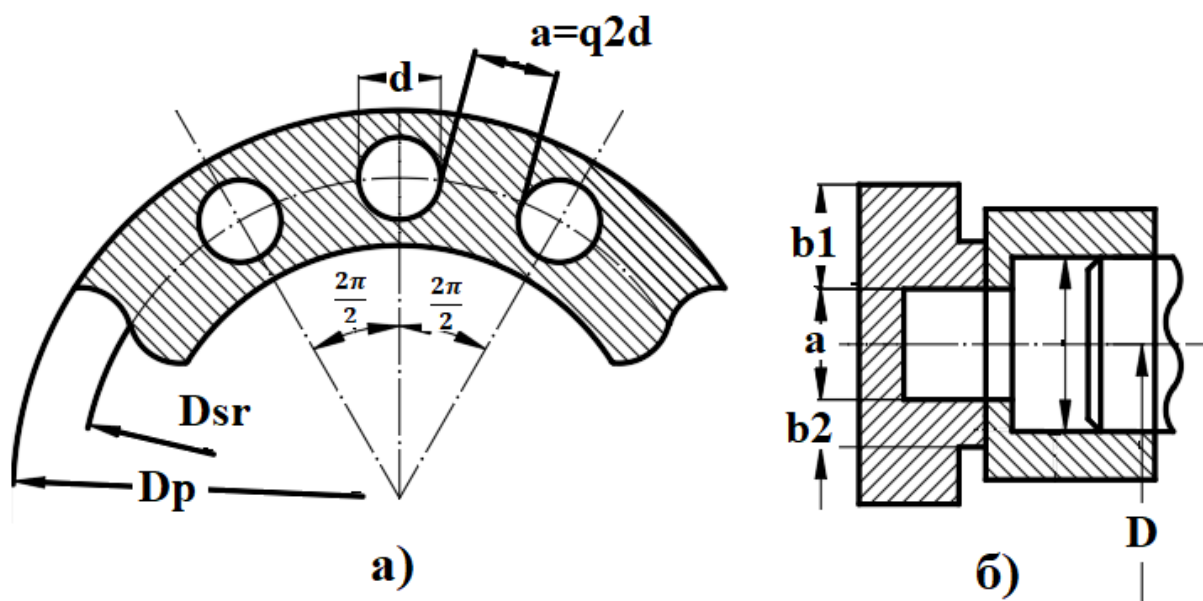
Пречник клипа мотора, полазећи од торзионог момента M_t може да се израчуна по формули:

$$d = (2.7 \div 2.8) \sqrt{\frac{M_t}{z^2 (p_{pot} - p_{pov}) \tan \alpha \eta_{meh}}} [m]
 \tag{47}$$

где су:

p_{pot} и p_{pov} – притисак у потисној и повратној комори мотора [Pa]
 η_{meh} - механички степен искоришћења мотора.

Да би се смањило хабање површине разводних делова потребно је смањити кружну брзину клизања. У ту сврху препоручује се да се отвори за напајање цилиндра поставе на минимално дозвољено растојање од центра које задовољава остале захтеве, тј. да је $D_{sr} < D$ (Слика 6.).



Слика 8. Шема за избор радних параметара при развођењу течности помоћу разводоне плоче код аксијалних клипних пумпи [6]

Ширина појаса између уисног и потисног отвора S (Слика 7.) је

$$S = (1,1 \div 1,2) d_k, \quad (48)$$

где је:

d_k – пречник канала (или дужина његове веће осе, ако канал није округлао) који спаја цилиндар са разводним отвором.

У пракси се узима да је висина канала једнака ширини a разводног отвора (Слика 8.б), а ширина канала – пречник цилиндра. Задњи услов биће испуњен ако је централни угао појаса разводног диска (Слика 7.).

$$\beta = 2 \sin^{-1} \frac{d}{D_{sr}} \quad (49)$$

где су:

d – пречник цилиндра,

D_{sr} – средњи пречник круга по коме су распоређени центри разводних отвора.

Према томе централни угао једнак је $\alpha_0 = 180 - \beta$.

Повећање централног угла појаса (величине преклапања) доводи до појаве компресије течности у цилиндрима, за чије се отклањање примењују различите конструктивне мере. Често се ради отклањања компресије у клиповима постављају вентили сигурности, подешени на притисак већи од маскималног радног притиска [6].

Да би се побољшали услови довођења течности у цилиндри, пречник D круга (Слика 8.б) по коме су распоређене осе цилиндра, треба да је минималан. Међутим, при томе је неопходно сачувати оптималну дебљину ($0,2d$) зида између цилиндра, да би се очувала крутост цилиндарског блока. При прорачуну чврстоће блока треба тежити да

његова крутост у свим правцима буде приближно иста. При прорачуну крутости цилиндра потребно је узети у обзир и дејство унутрашњег притиска у суседним цилиндрима. Пречник D круга цилиндарског блока, по коме су распоређене осе цилиндра и спољни пречник блока, израчунавају се по формулама:

$$\left. \begin{aligned} D &= (0.35 \div 0.4) dz \\ D_p &= D + 1.6d \end{aligned} \right\} \quad (50)$$

где су

d и z – пречник и број цилиндра.

Ове релације добијене су из прорачуна да дебљина зидова измеђе цилиндра износи $a = 0.2d$ а да дебљина зидова између огледала цилиндра и спољне површине цилиндарског блока буде $b_1 = 0.3d$ (Слика 8.).

Максимална брзина уља у разводним отворима одређује се по формули:

$$u_{max} = \omega R \sin \gamma \frac{f}{s} \quad (51)$$

где су:

$\omega = \frac{\pi n}{30}$ – угаона брзина обртања цилиндарског блока,

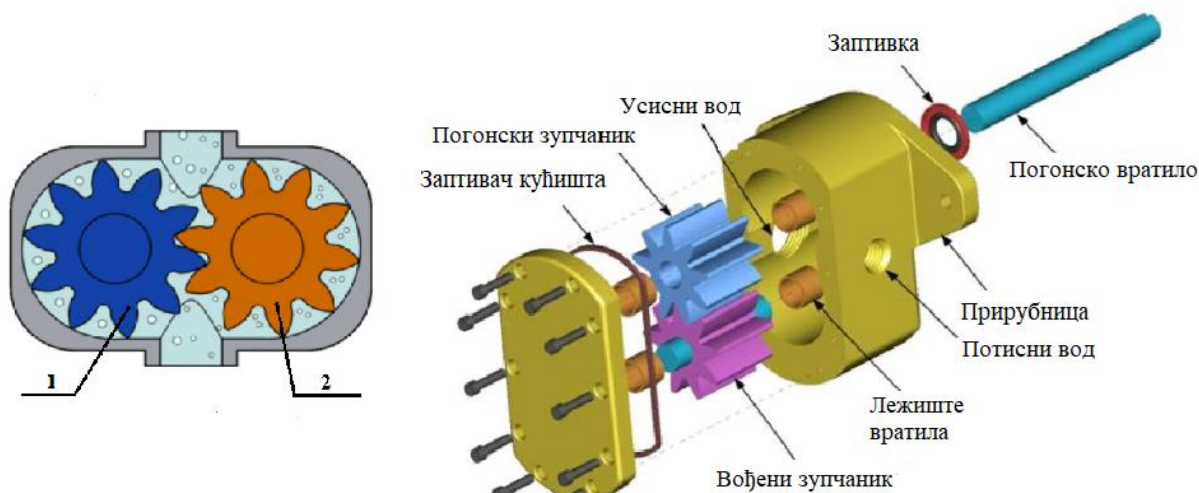
f – површина клипа,

s – површина отвора (канала) на дну цилиндра.

3.3.4 Зупчасте пумпе

Зупчасте пумпе су роторске пумпе чији су елементи за потискивање течности зупци зупчаника, а запремине течности које се потискују затварају се зупцима који се налазе у контакту са површинама отвора, у којима су смештени зупчаници.

Зупчасте пумпе израђују се са спољним и унутрашњим озубљењем. У пракси се највише употребљавају пумпе првог типа, које се састоје од пара међусобних спрегнутих зупчаника постављених у тело које их чврсто обухвата и у коме постоје отвори за усисавање и потискивање, на местима уласка и изласка зубаца из захвата (Слика 9.).



Слика 9. Шематиски приказ зупчaste пумпе, 1 – погонски зупчаник, 2 – гођени зупчаник [6,9]

За време обртања зупчаника, зупци потискују уље које се налази у шупљинама између зубаца (међузубље) у потисни вод, док празнина, која настаје након изласка зуба из захвата, проузрокује усисавање уља кроз усисни отвор у ове исте шупљине. Овакву течност свака комора носи по спољном обиму од усисног ка потисном отвору.

Зупчaste пумпе са спољним озубљењем и цилиндричним зупчаницима најједноставније су од свих пумпи и одликују се поузданошћу у експлоатацији, малим димензијама и масом, дуговечношћу и компактношћу [9].

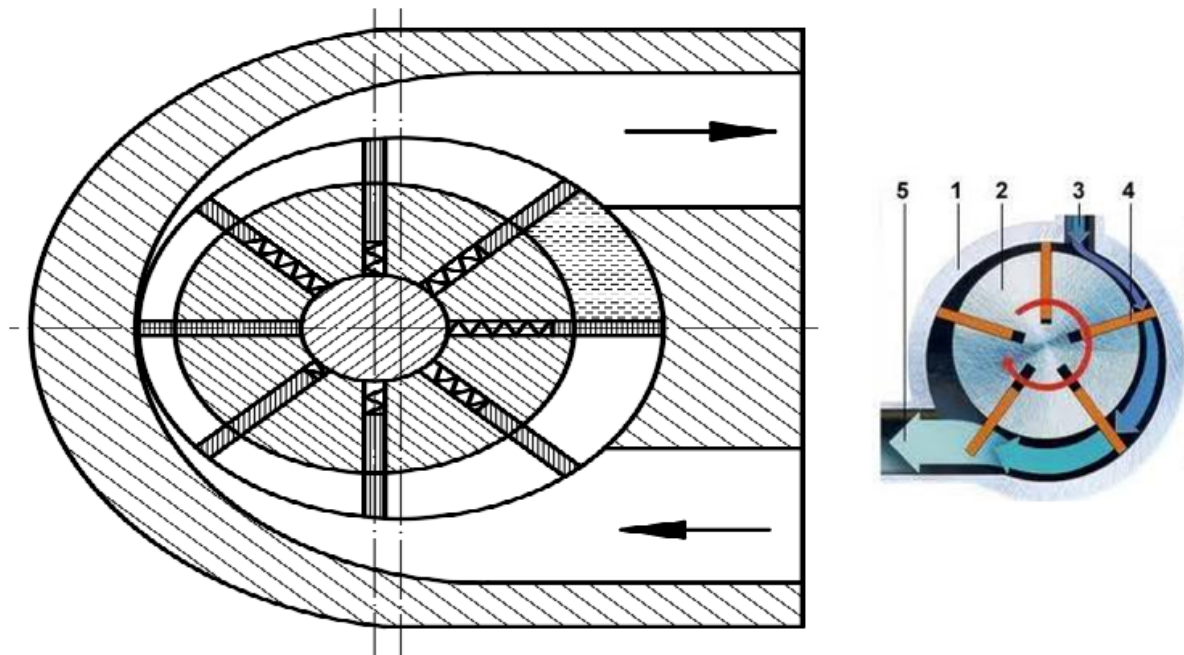
Радни притисак зупчастих пумпи обично износи од 100 до 200 бара.

3.3.5 Крилне пумпе

Ово су обртне пумпе чији су елементи за потискивање радне течности у облику крилаца (лопатица), а течност која се потискује затвара се у радне коморе између два суседна крилаца и површине статора и ротора. При обртању ротора, који је ексцентрично постављен у статору, крилаца налажу на обим статора, клизећи у свом седишту у ротору. У току једног обртаја ротора радне коморе, најпре повећавају своју запремину (усисавање), а затим је смањују (потискивање).

На слици 10. дата је шема крилне пумпе. Крилаца се извлаче помоћу притиска течности, који се доводи из потиског отвора у простор испод крилаца.

Обично имају од 10 до 12 крилаца. Погодне су за примену када се захтевају већи протоци уз средње притиске до око 140 бара [8].



Слика 10. Шематски приказ крилне пумпе, статор (1), ротор (2), уводни вод (3) крилица (4) изводни вод (5) [10]

3.3.6 Завојне пумпе

У свим гранама индустрије, користе се завојне пумпе, које се одликују поузданим и бешумним радом, компактностју и равномерним протоком. Ове пумпе могу да раде и као хидрометри.

На слици 11. приказана је пумпа са 3 завојна ротора, средњи је водећи (погонски), а два бочна су вођени ротори. Преносни однос између водећег и вођеног ротора једнак је јединици [8].



Слика 11. Завојна пумпа [8,9]

4.0 Хидраулички мотори

Хидраулички мотори су уређаји који служе за претварање хидрауличке енергије, добијене од пумпе као изворног органа, у механички рад.

Према врсти кретања која остварују, хидраулички мотори се деле на обртне и праволинијске. Хидраулички мотори са праволинијским кретањем називају се и радним цилиндрима.

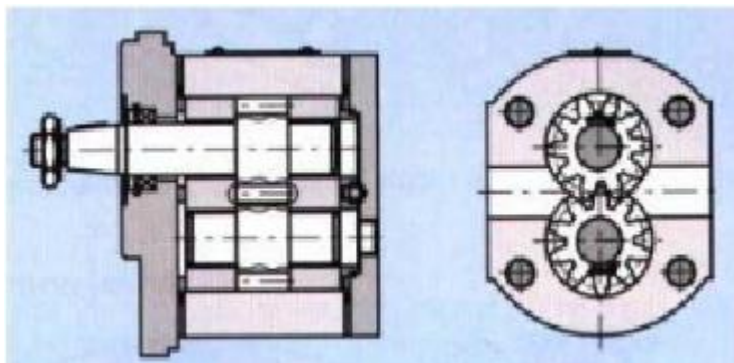
Обртни мотори су по конструкцији веома слични пумпама. Највише се користе зупчасти, клипни и крилни хидраулички мотори. Мотори су углавном констатне радне запремине, али се користе и мотори са подесивом радном запремином.

Основи радни параметри обртних хидрауличких мотора су угаона брзина, односно број обртаја и обртни момент [3].

4.1 Обртни хидраулички мотори

Зупчасти хидраулички мотори се шематски могу приказати као зупчасте пумпе (Слика 12.). Ови мотори имају релативно велике губитке при малом броју обртаја и због тога се примењују само као брзоротирајући извршни уређаји.

Са гледишта механичког степена искоришћења, зупчасти мотори су лошији од клипних и крилних мотора због повећања трења. Експериментално је доказатно да је притисак покретања неоптерећених аксијалних клипних мотора реда од 0,5 до 1,5 бара, а зупчастих од 10 до 15 бара.



Слика 12. Зупчасти хидромотор [9]

Принципска шема клипних хидрауличких мотора је иста као и клипних аксијалних, односно клипних радијалних пумпи. Имају релативно мале запреминске губитке течности, те се могу употребљавати у подручју бројева обртаја од 40 до 3000 у минути, па и више.

На многим машинама, нарочито на тракторима и грађевинским машинама, примењују се високомоменти радијални клипни хидраулички мотори који раде на малим бројевима обртаја. У те сврхе примењују се мотори са профилисаним статорским прстеном, којима се постиже висок торзиони момент. Зависно од профила статорског прстена, клип у току једног обртаја изврши неколико радних хода. У циљу

повећања момента често се користе констукције хидрауличких мотора са неколико (обично 2-3) низова цилиндара, при чему укупно има 50-60 цилиндара.

По принципској шеми крилни хидраулички мотори су исти као и крилне пумпе. Због малих запреминских губитака радне течности могу се употребљавати на малим бројевима обртаја – већ од 10 па све до 1500 обртаја у минути.

Примењују се двострани крилни мотори, код којих практично нема радијалног оптерећења на вратилу.

За специјалне сврхе производе се високомоментни крилни хидраулички мотори. Овакви мотори користе се за погон бродских дизалица, рударских машина, у металургији и сл. [6].

4.2 Хидроцилиндар (линеарни мотор)

Хидроцилиндри имају задатак да изводе транслаторно (праволинијско кретање и да при томе пренесу силе.

Максимална сила у цилиндру зависна је од активне површине и највишег дозвољеног радног притиска. Она је од почетка до краја хода констатна. Брзина зависи од количине доведене течности по јединци времена и површине.

Цилиндар је, у ствари, хидралички (или пнеуматски) мотора са праволинејским наизменичним кретањем радног органа (клипа) у односу на тело цилиндра.

У пракси се примењују цилиндри разних типова са различитим начином њиховог укључивања у хидраулични систем:

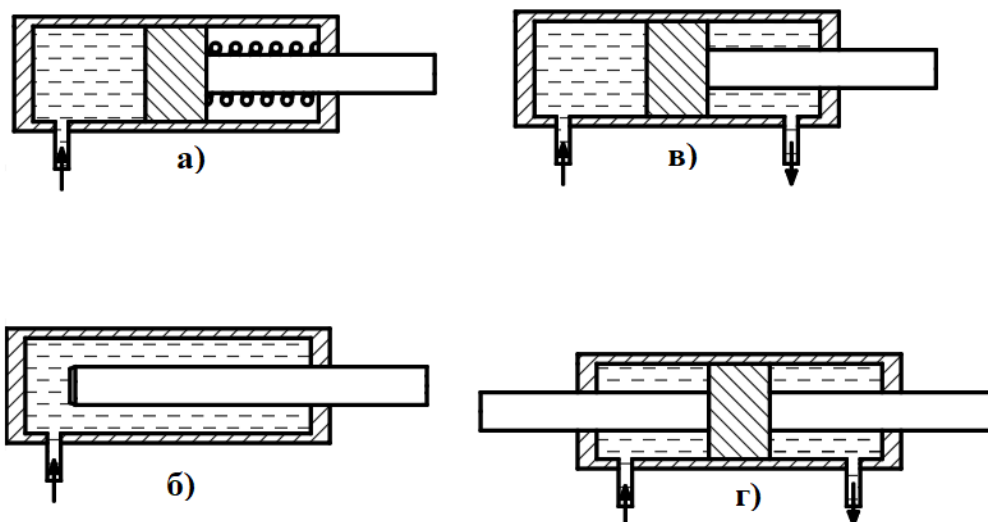
Према конструкцији разликују се цилиндри:

- Једносмерног дејства,
- Двосмерног дејства,
- Са једностраном клипњачом,
- Са двостраном клипњачом,
- Телескопски и др.

У цилиндрима једносмерног дејства (Слика 13.а) притисак делује само са једне стране клипа, а повратни ход се врши под дејством повратне опруге или спољашњих сила. Плунжерски цилиндри (Слика 13, б) су посебна врста цилиндра једносмерног дејства код којих је клипљача истовремено и клип.

У цилиндрима двосмерног дејства (Слика 13.в) притисак делује са обе стране клипа и кретање се одвија под дејством силе притиска у оба смера.

Цилиндри са једностраном клипњачом (Слика 13.г) имају по једну клипњачу са обе стране. Употребљава се када се захтева да брзина клипљаче буде једнака у оба смера кретања, као на пример, у хидрауличном сервомеханизму [2].



Слика 13. а) Цилиндар једносмерног дејства, б) Плунжерски цилиндар, в) Цилиндар двосмерног дејства, г) Цилиндар двосмерног дејства са двостраном клипњачом.

Телескопски цилиндри састоје се од неколико цилиндара, који улазе један у други, примењују се када су потребни већи радни ходови. Укупни ход клипњаче ових цилиндара премашује дужину тела цилиндра.

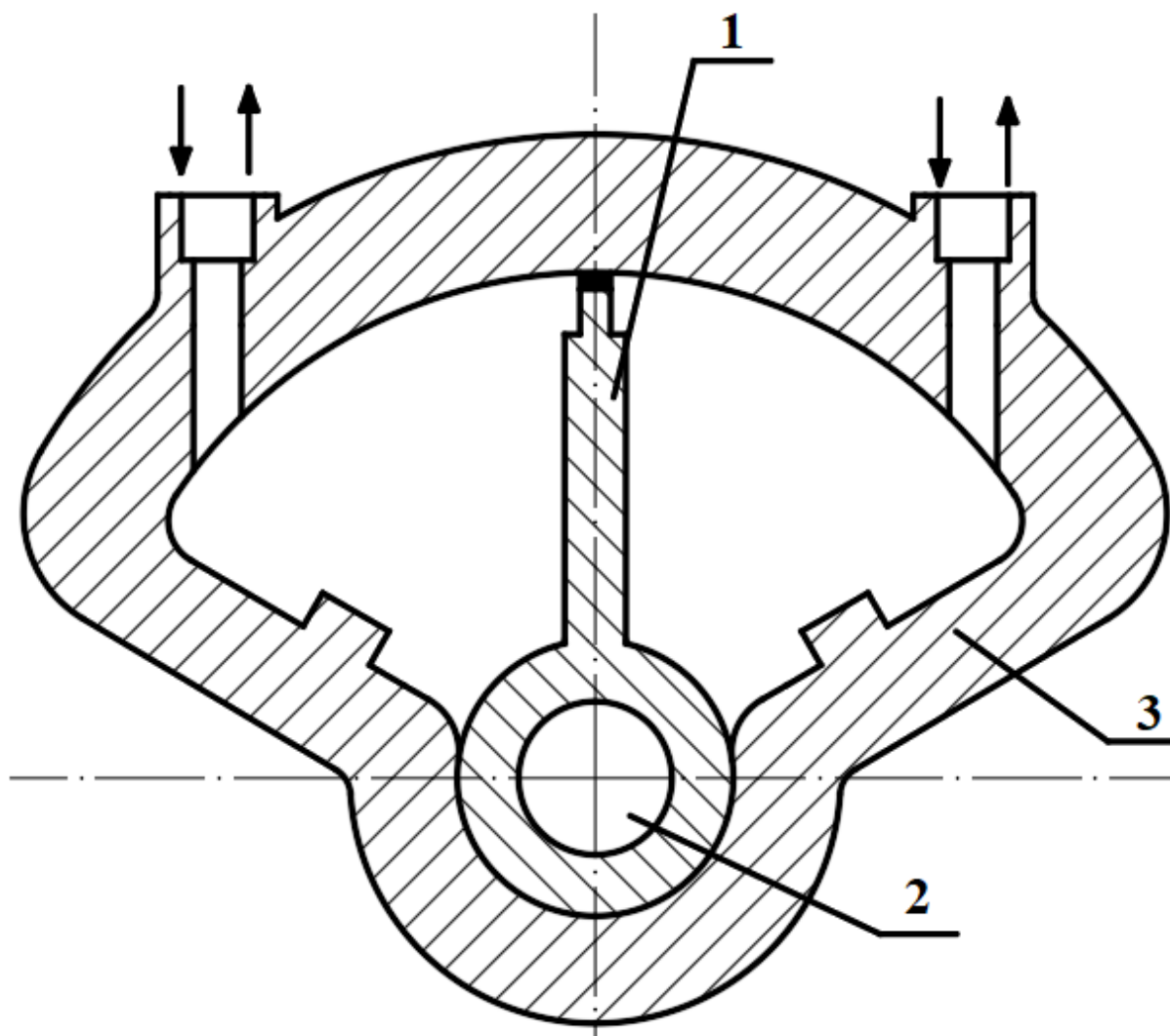
4.3 Закретни хидраулички мотор

Закретни мотор служи за остваривање обртног момента у ограниченом углу заокретања. Овај мотор се састоји из кућишта и једног клипа двоструког дејства са зупчастом летвом и малим зупчаником.

Средњи део клипа, који је изведен у виду зупчасте летве, стоји у захвату са радним зупчаником. Довођењем притиска на једну страну клипа врши се померање клипа који окреће узупчени радни зупчаник. Закретни мотор предаје константан обртни момент у целом опсегу закретања.

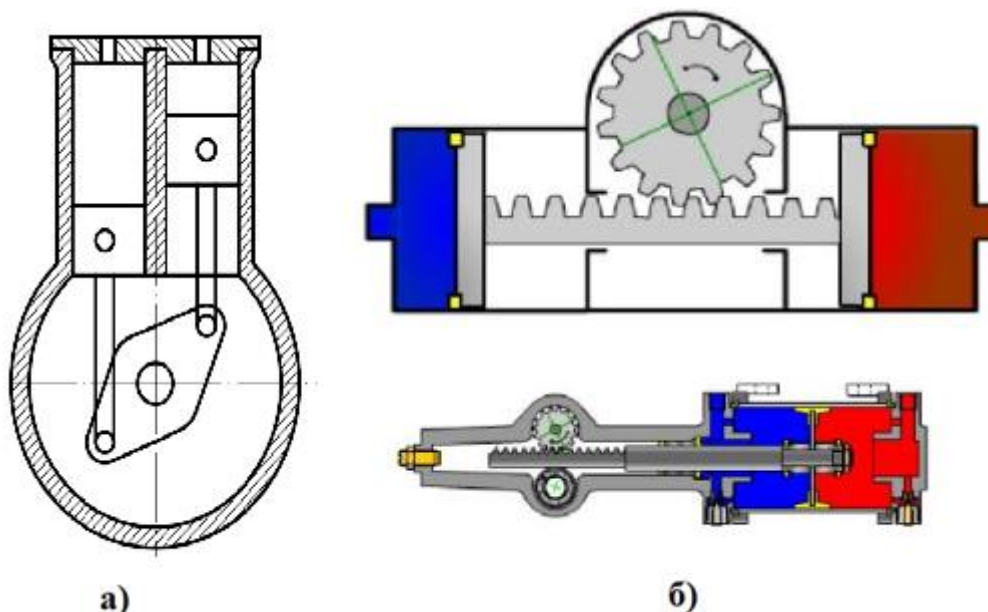
Постоје и друге врсте конструкција као што је са паралелним клиповима, обртним крилима или нпр. мотор са коленастим вратилом, код кога је величина максималног обртног момента зависна од закретног угла.

Крилни закретни мотор (Слика 14.) функционише на тај начин што се са једне стране крилца (1) доведе уље под притском које крилце, заједно са излазним вратилом (2), окреће на једну страну. Момент код ових мотора је константан на целом ходу и зависи од притиска уља, површине крилаца, унутрашњег пречника кућишта (3) и пречника краја крилца које се навлачи на вратило (2). Угао заокретања овог мотора може да изнесе до 270° , али се мора водити рачуна о крутости целе конструкције да не би дошло до лошег заптивања услед деформације кућишта.



Слика 14. Закретни мотор са крилцима [8]

Клипни закретни мотори (Слика 15.) уместо крилца имају клипове на које делује уље под притиском. Клипови могу да буду паралелни и клињачама повезани на клацкалицама које покрећу вратило. Уље се доводи наизменично изнад једног па изнад другог клипа који обрће вратило за одређени угао. Момент код овог типа мотора зависи од угла заокретања. Угао заокретања је због констукције закреног мотора ограничен на максимум 100° .



Слика 15. Закретни мотор са клиповима: а) са два паралелно постављена клипа, б) са једним клипом двомсерног дејства [9]

4.3.2 Прорачун закретног мотора

Величина торзионог момента M и угаоне брзине ω на вратилу закретног мотора са једним крилцем израчунава се по формули

$$M = \frac{\Delta p(D-d)d}{2} \cdot \frac{D+d}{4} \quad (52)$$

$$\omega = \frac{8Q}{b(D^2-d^2)} \quad (53)$$

где је:

Q – проток течности $[m^3/s]$

p – радни притисак (пад притиска) $[Pa]$

b и d – ширина и пречник крилца $[m]$

D – унутрашњи пречник цилиндра $[m]$

ω – угаона брзина вратила $[s^{-1}]$

M – торзиони момент који развија цилиндар $[Nm]$

5.0 Хидраулички разводници

Разводни уређаји, или разводници, служе за развођење радне течности у поједине делове хидрауличног система и његове компоненте. Помоћу разводника усмерава се радна течност у одговарајуће извршне уређаје (хидромоторе, хидроцилиндре) и остварује се њихово повратно кретање.

По својој конструкцији разводници се дела на клипне, плочасте и вентилске разводнике.

По принципу дејства разводника разликују се:

- Разводници директног дејства, чији сигнал управљања (механички, хидраулички или електрични) делује непосредно на радни орган разводника (клип, плочасти елемент и др.);
- Разводници индиректног дејства, чији сигнал управљања делује на његов радни орган преко додатног специјалног уређаја.

По броју одређених положаја укључивања разликују се:

- Двоположајни разводници, који имају два различита одређена положаја свог радног органа;
- Троположајни разводници, који имају три различита одређена положаја свог радног органа;
- Разводници са неколико различитих одређених положаја свог радног органа.

По броју прикључних отвора (односно водова) разликују се разводници са 2, 3, 4, 5 и 6 прикључних отвора.

Број прикључних отвора и број одређених положаја укључивања карактеришу разводнике и обично улазе у његову ознаку. На пример – разводник 4/3 има 4 прикључна отвора и 3 одређена положаја укључивања.

5.1 Клипни разводници

Разводни елемент разводника овог типа је цилиндричан клип. Радна течност се разводи помоћу аксијалног (уздужног) кретања клипа.

а) Клипни аксијални разводници. Њихов разводни елемент је цилиндричан клип (плунжер) са престенастим жлебовима и појасевима, који се помера уздужно у чаури, која има отворе за довод и одвод радне течности.

Највише се примењују разводници са 4 прикључака, чија је основна функција довођење радне течности под притиском у једну од две коморе хидрауличког мотора (цилиндра), уз истовремени одвод течности из супротне коморе у резервоар.

Мање се примењују разводници са 3 прикључна отвора који се користе ако се потребан вод за напајање радног цилиндра спојити са извором притиска или са повратним водом који одводи радна течност у резервоар, тј. ако се примењује радни цилиндар једносмерног дејства.

Разводник се може активирати ручно (притиском на дугме, полугом, педалом) механички (опругом, точићем), електрично (електромагнетом, електромотором), хидраулички директно или индиректно (уз помоћ предуправљања) и комбинована (електромагнетном и разводником са предуправљањем) [8].

б) Разводници са индиректним активирањем. Када је потребно да се смањи сила потребна за померање разводника, и истовремено обезбеди потребни већи проток радне течности, примењују се разводници са индиректним активирањем.

в) Разводници са електромагнетним активирањем. У пракси се за активирање разводника најчешће користи управо овако активирање.

Клип разводника са једним електромагнетом помера се у једну страну под дејством електромагнетног поља. У другу страну након престанак деловања ел. магнета помера се под дејством опруге. Ход клипа обично износи 5 до 6 милиметара, снага управљаче електричне струје је око 20 вати. Пречник клипа разводника обично није већи од 30 милиметара.

Покретање разводника помоћу ел. магнета нарочито се примењују у разводницима са индиректним активирањем. Пошто је клип помоћног разводника обично малог пречника (реда величине од 3 до 4 милиметара), за његово покретање може се применити електромагнет мале снаге [6].

5.2 Разводници са обртним кретањем разводног елемента

Разводни елемент ових разводника, који је обично цилиндричног или ређе коничног облика, врши обртно кретање при заузимању одређених положаја укључивања.

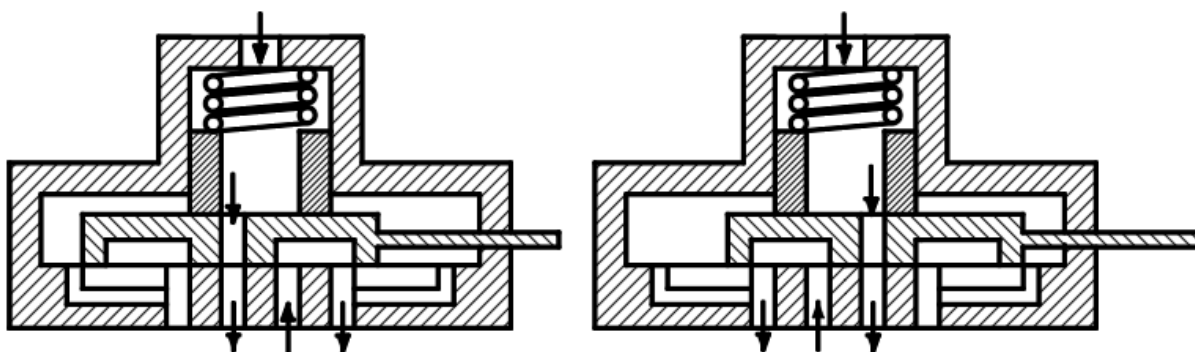
Обртни разводни елемент мора бити уравниотежен у односу на статичке силе притиска радних течности, пошто ће у противном бити притиснут на једну страну, при чему би се развиле велике силе трења [8].

Обртни разводни елемент се уравнотежава дијаметрално супротним деловањем притиска радне течности на обртни елемен.

5.3 Плочасти разводници

Израда клипних разводника захтева високу тачност и квалитет механичке обраде унутрашњих радних површина чауре разводника и клипа.

Разводни елемент плочастих разводника је у облику плоче и његова израда је релативно једноставана [8].



Слика 16. Плочасти разводник са ручним управљањем [8]

На слици 16. дат је шематски приказ аксијалног плочастог разводника са ручним управљањем, једноставне конструкције, који се широко примењују у авионским хидрауличким системима.

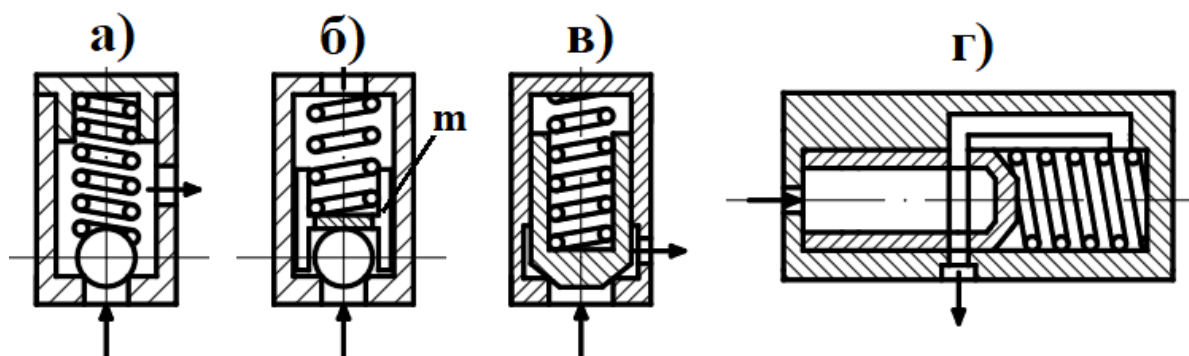
6.0 Вентили

6.1 Вентили за ограничење притиска

Ова врста вентила служи, као што и само име каже, за ограничавање притисак у хидрауличном систему, односно спречавање његовог повећања изнад одређене вредности.

Принцип рада вентила за ограничење притиска заснива се на равнотежи силе притиска радне течности, који на њега делује, и силе опруге. Све док је сила притиска мања – или једнака сили опруге – куглица или конус или клип (Слика 17.) остаје на своме седишту. Када сила притиска премаше силу опруге куглица (конус или плунжер) вентила помери се са свог седишта, чиме се оствари веза између улазног и излазног отвора вентила, тј. између потисног вода и вода који води директно у резервоар. При снижењу притиска испод притиска отварања, вентил поново чврсто затвара пролазни отвор.

При примени вентила са куглицом, у системима са високим притиском, куглица се поставља у усмеривач *m*, који омогућује померање куглице само дуж осе вентила (Слика 17.б). Вентил за ограничење притиска са конусом представљен је на (Слици 17. в).



Слика 17. Вентил са ограничење притиска а и б) са куглицом, в) са конусом, г) са клипом [6]

Вентил сигурности представљен на слици 17.г назива се вентил сигурности директног дејства, пошто код њих радни притисак делује директно на радни орган (клип, клипњачу или конус) вентила [8].

6.2 Преливни вентил

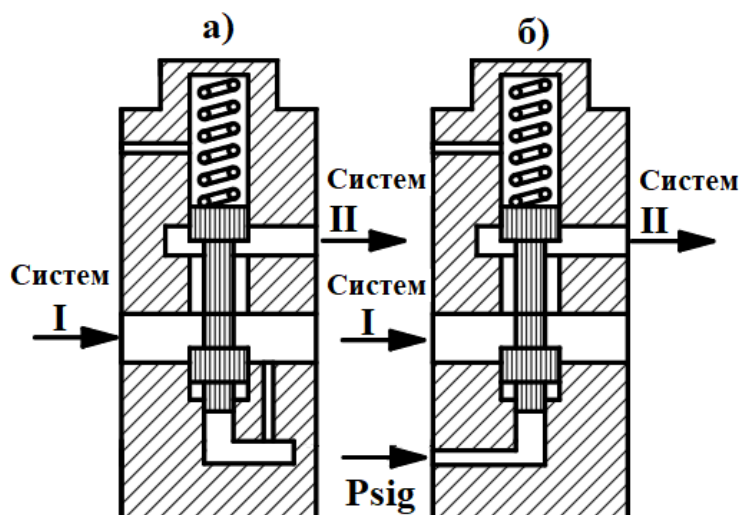
За разлику од вентила за ограничење притиска који само повремено ради у хидрауличном систему, преливни вентили су сталног дејства и намењени су за одржавање задатог притиска радне течности, што се постиже непрекидним одвођењем једног њеног дела у резервоар.

Као преливни вентили обично се користе вентили за ограничење притиска са индиректним дејством.

6.3 Редоследни вентили

Ови вентили служе за укључивање у рад неког другог хидрауличног система када притисак у првом систему достигне одређену вредност или када се на њих делује управљачким притисним сигналом [7].

Испод доње чеоне површине клипа вентила (Слика 18.а), кроз канал доводи се притисак из првог систем. Када сила притиска савлада силу опруге, која се налази са горње стране, клип се помери нагоре и омогући пролазак радне течности из првог система у други систем. Редоследни вентил, приказан на слици 18.б, омогућује пролаз радне течности из система један у систем други тек када се испод доње чеоне површине клипа доведе управљачки притисни сигнал (на слици P_{sig}).



Слика 18. Редоследни вентил

6.4 Вентил за растеређивање пумпи

У хидрауличком систему са пумпом сталне радне запремине и потрошача (мотор, цилиндар) који повремено раде, користе се уређаји за аутоматско растеређивање, који пумпу, након достизања задатог притиска, пребаце у режим празног хода, при чему њен радни притисак опадне на нулу.

6.5 Регулатори притиска

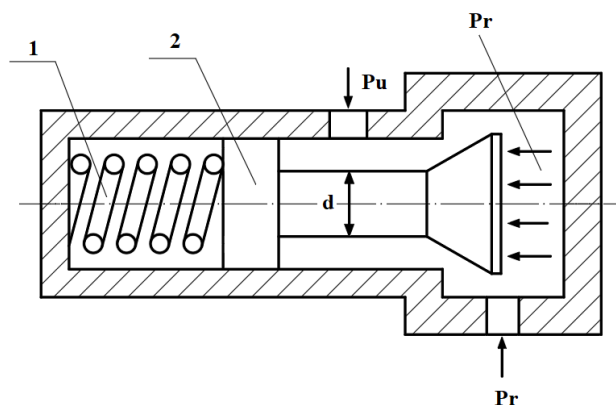
Регулатори или редуктори притиска примењују се у хидрауличким системима где једна пумпа напаја више потрошача, који захтевају различите радне притиске. Регулатори притиска смањују (редукују) притисак на потребну вредност, коју одржавају константном на свом излазу.

Регулатор притиска у ствари је пригушник аутоматског дејства, чија је величина отпора у сваком тренутку једнака разлици између променљивог притиска P_u на улазу у вентил, и константног, редукованог притиска P_r на излазу [8].

Најједноставнији облик регулатора притиска приказан је на слици 19. При неком сталном притиску на улазу P_u , клип (2) биће у равнотежи под дејством притиска и силе опруге (1), радна течност пролази поред коничне главе клипа ка излазу, при чему због овог локалног отвора вредност притиска P_u опадне на P_r .

Ако се притисак на улазу повећа, клип (2) се помера у лево под дејством притиска течности и делимично или потпуно прекрива проточни отвор. Због смањене проточне површине, пад притиска биће већи, што омогућује да излазни притисак P_r остане константан.

Вентил ће бити отворен када је $F \geq p_r \cdot A$, а затворена када је $F \leq P_r \cdot A$ (F – сила опруге, $A = \frac{d^2 \pi}{4}$ – активна површина коничне главе вентила).



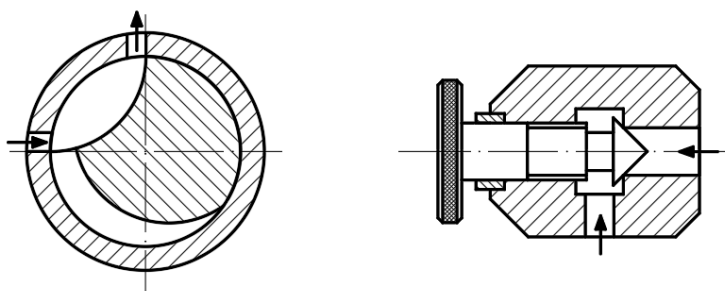
Слика 19. Шематски приказ регулатора притиска [2]

6.6 Пригушни вентил

Пригушни вентил или пригушник, представља месни (локални) регулисани или нерегулисани отпор, који се поставља на путу струјања радне течности да би се ограничио проток. Ограничавање протока течности постиже се одвођењем једног његовог дела у резервоар или остварењем пада притиска на пригушном вентилу [3].

Пошто се пригушно регулисање протока заснива на претварању енергије притиска у топлоту, овакав начин регулисања протока примењује се првенствено у хидрауличким системима мале снаге. На слици 20.а приказан је пригушни вентил са

обртним чепом, а на слици 20.б је пригушни вентил са аксијалним кретањем пригушног елемента.



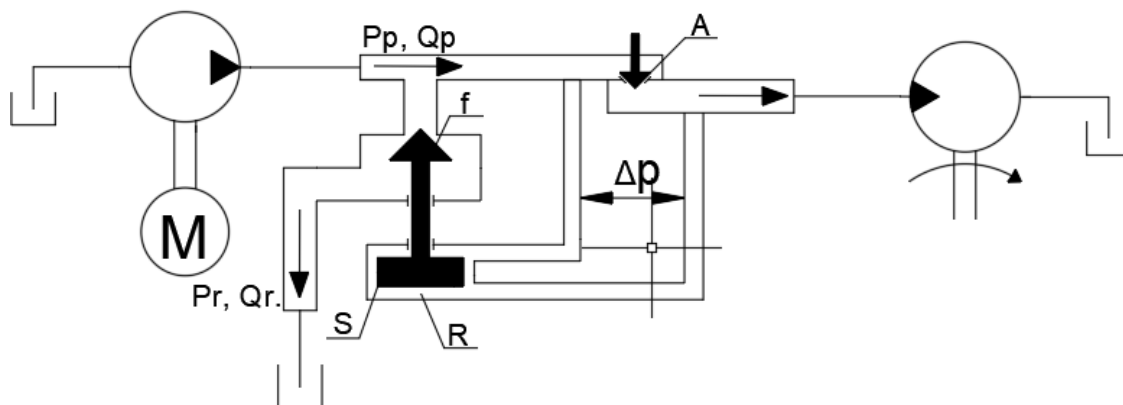
Слика 20. Пригушни вентил мале снаге (а), пригушни вентил [3] са чепом (б)

6.7 Вентил за регулисање протока

У хидрауличким системима са пригушним управљањем за регулисање брзине кретања извршних органа (хидромотора) користи се вентили којима се остварују промене протока у систему, а који раде на принципу пригушивања струје радне течности. Зависно од извора напајања разликују се два типа хидрауличких система са пригушним управљањем:

- са извором напајања променљивог протока и константим радним притиском који се одржава вентилом за ограничење притиска.
- са извором напајања са константим протоком и променљивим радним притиском, који зависи од оптерећења хидромотора.

Највише су распрострањени хидраулички системи чији извор напајања обезбеђује константан радни притисак, напајајући при томе неколико подсистема са својим хидромоторима. Брзина кретања хидромотора регулише се у том случају вентилима за регулисање протока. Ови вентили су обично комбинација пригушног вентила и регулатора притиска. Принцип рада вентила за регулисање протока са сталним протоком и преливним отвором према резервоару илустрован је на слици 21. Пумпа даје проток Q_p при радном притиску P_p . Проток Q_m у воду хидромотора одређује пад притиска Δp на проточном отвору А пригушног вентила.



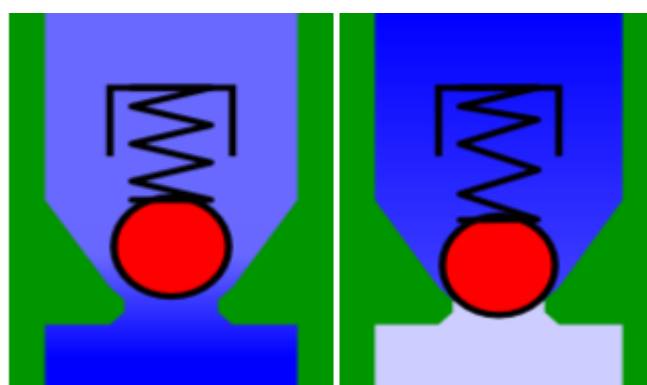
Слика 21. Шематски приказ вентила за регулисање протока [6]

Ова разлика Δp делује на површину клипа S у смеру супротом дејства силе F опруге R (ако се проток повећава) и мења (повећава) површина проточног отвора f . Вентил за регулисање протока одржава проток Q_m константним, преливајући вишак радне течности (при повећању протока Q_r) кроз проточни отвор f у резервоару (проток Q_r) [6].

6.8 Неповратни вентили

Намена ових вентила је да омогући протицање струје радне течности само у једном смеру.

Неповратни вентили конструктивно је сличан вентилу за ограничење притиска а разлика је у томе што је сила опруге вентила мала, али довољна да обезбеди поуздано насадање вентила на седиште. У неким конструкцијама неповратних вентила опруге се и не примењују. На слици 22. приказан је неповратни вентил оптерећен опругом, чији је зативни елемент куглица [6].

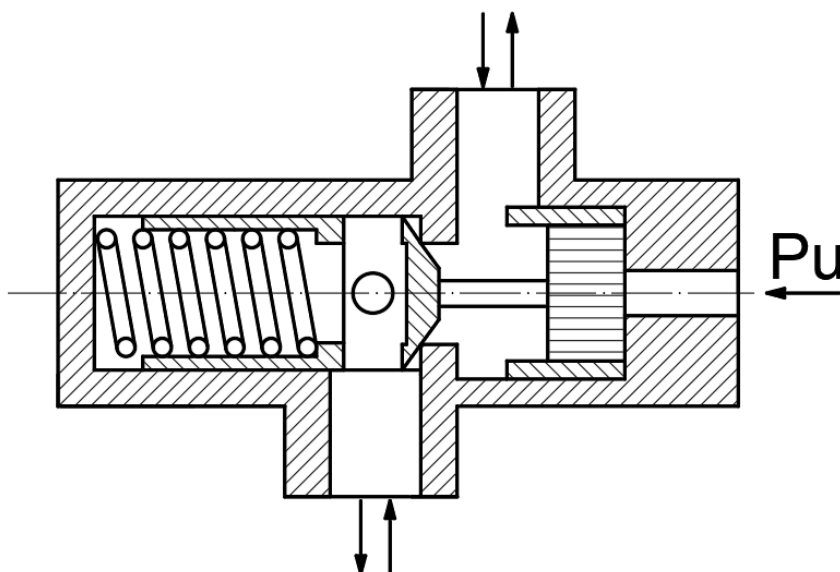


Слика 22. Неповратни вентил оптерећени опругом [9]

6.8.1 Неповратни вентил са управљањем

На слици 23. приказан је неповратни вентил са управљањем. Управљачким притиском P_u спречава се затварање вентила при протицању струје радне течности у смеру означеном испрекиданим стрелицама.

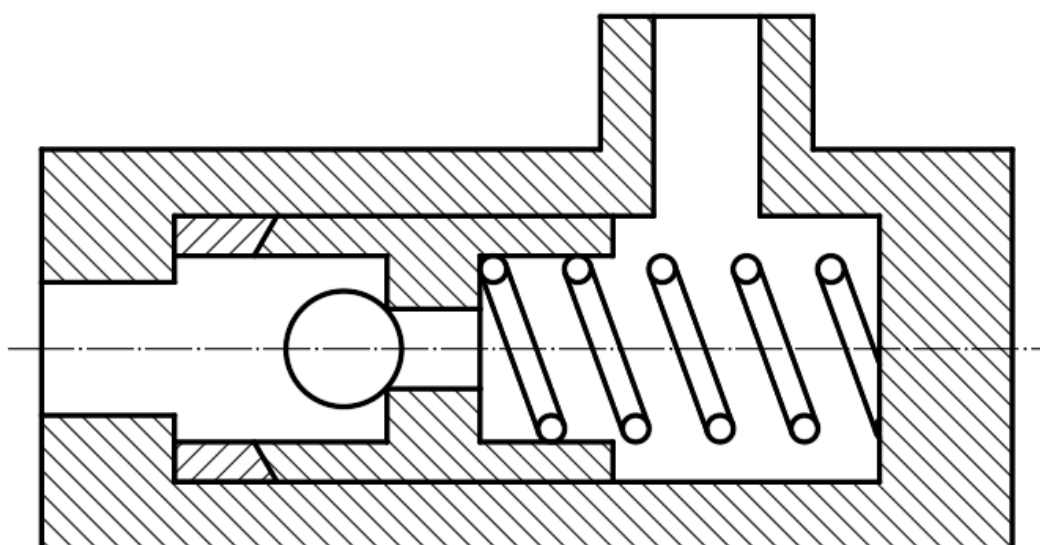
Конструкција неповратног вентила са управљањем може бити таква да се управљачким притиском спречава отварање вентила при протицању струје радне течности у смеру означеном пуним стрелицама.



Слика 23. Неповратни вентил са управљањем [6]

6.8.2 Неповратни вентил са пригушењем

Неповратни вентил са пригушењем (Слика 24.) користе се за задржавање клипа хидроцилиндра у подигнутом положају. При кретању клипа хидроцилиндар под дејством оптерећења надоле, пригушник у вентилу не дозвољава нагло него равномерно спуштање, у зависности од степена пригушења вентила. Ови вентили израђују се и са подесивим пригушењем [6].



Слика 24. Шематски приказ неповратног вентила [6]

7.0 Помоћне компоненте

7.1 Резервоари

Резервоар, као компонента хидрауличких система, има вишеструку намену. Служи за смештај радне течности и одвођење њене топлоте, која се при раду ствара. У резервоару су, по потреби, обично смештени филтери, хладњак или грејач.

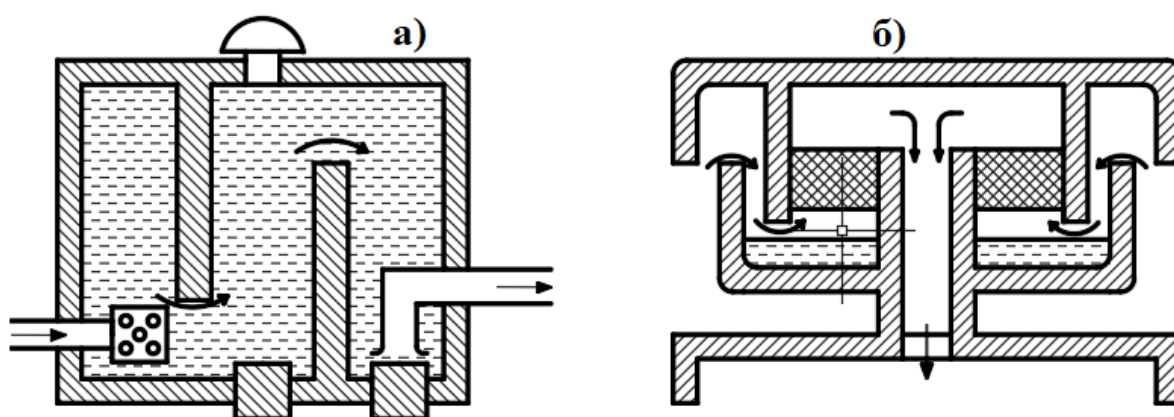
Резервоар треба да има на горњем делу одушак за ваздух, снабдевен ваздушним филтером који спречава продор честица нечистоће и влаге у резервоару (Слика 25.а).

Резервоар треба да има лако уочљив показивач нивоа радне течности са ознакама нормалног, максималног и минималног нивоа.

Да би се олакшало издување ваздуха из уља, потребно је што више удаљити уписну од повратне цеви. Препоручује се да се ове цеви одвоје преградама (Слика 25.б)

Основни задаци резервоара су:

- Складиштење потребне количине уља,
- Одвођење топлоте
- Издавање ваздуха
- Таложење нечистоћа



Слика 25. Шематски приказ резервоара [2]

Величина резервоара одређује се према минутном протоку пумпе и узима се обично да је 3 – 5 пута већа од тог протока а да ваздушни простор износи 10 – 15% запремине резервоара. Она такође зависи од врсте хидрауличких система, као и од могућности хлађења.

Поред индустријске примене са 3 – 5 пута већом проточном запремином у отвореном колу, могућа је и индустријска примена резервоара у затвореном колу, где се узима да је запремина резервоара 1,5 – 2 пута већа од минутног протока пумпе.

У мобилној хидраулици те вредности се крећу од 1 – 1,5 за затворено коло до 0,5 – 1,0 пута минутног протока пумпе за затворено коло [2].

При трансформацији енергије у хидрауличном систему настају губици, који се узимају као изгубљена снага:

$$P_{gub} = P_{gub. pumpe} + P_{gub. motora} + P_{gub. cevovoda i ventila} \quad (54)$$

Код стандардних инсталација, без елемената који остварују своју функцију, са већим падом притиска (регулатори протока, сервовентили) ови губици износе 20%, док код свих других инсталација износи и до 50% укупне снаге.

Количина топлоте коју одаје резервоар износи:

$$T_{rez} = \Delta T \cdot A \cdot K_1 \left[\frac{J}{h} \right] \quad (55)$$

где су:

ΔT – разлика температуре са унутрашње и спољне стране резервоара

A – површина резервоара која одаје топлоту

K_1 – коефицијент прелажења топлоте

$K_1 = 5,8$ – за лошу циркулацију ваздуха, топлоту засићеност, неповољно место постављања

$K_1 = 11,6$ – за нормалну циркулацију ваздуха

$K_1 = 23,2$ – за вештачку циркулацију ваздуха

Ако се настала топлота одводи искључиво преко резервоара тада је разлика температура уља и ваздуха:

$$\Delta T = \frac{P_{gub} \cdot 10^8}{A \cdot K_1} [K]$$

Издвајање ваздуха из уља у резервоар зависи од притиска и температуре. Ради бољег издвајања треба тежити ка што већим горњим површинама уља. Такође се препоручује да се уисне цеве што више удаље од повратних или да се раздвоје преградама висине која је мања за једну трећину од минималног нивоа уља.

7.2 Филтери

Филтери или пречистачи су уређаји у којима се радна течност очисти од нечистоћа којом је задржана. Према месту уградње филтери се деле на: уисне, потисне и повратне филтере. Нечистоћа радне течности састоји се од честица прашине, металних честица, гуме, продукта оксидације уља. Филтрирањем се продужава радни век поједних хидрауличких компонената, а тиме и целог хидрауличког система. Сматра се да је 80% оштећења и неисправности у хидрауличком систему последица нечистоће. Због тога се без филтера не може замислити било који хидраулички систем [2].

7.3 Славине

Задатак им је да брзо затварају односно отварају хидрауличне водове. Постоје две врсте ручних славина: а) са конусом, б) лоптасте.

Славине са конусом ломе струју уља при оптерећењу кроз њих, тако да при истом протоку оне дају већи пад притиска него лоптасте славине које, када су потпуно отворене, не представљају никакав локални отпор при протицању уља.

Славине се, према потреби, могу уграђивати на цевне водове или у разводне блокове које интегришу више компоненти.

Пложај при уградњи као и смер протицања су произвољни. Њихова примена је ограничена максималним радним притиском и протоком.

Лоптасте славине до извесне величине израђују се са навојним прикључцима, а за више вредности протока оне су снабдеване прикључним прирубницама [2].

7.4 Цевоводи и прикључни елементи

Цевоводи су основне компоненте сваког хидрауличног система, односно на њих отпада до 30 % масе хидрауличног система. Под цевоводом се подразумевају круте металне цеви, савитљиви цевни водови (еластична црева), покретни спојеви цеви и др.

Прикључним елементима се међусобно спајају цеви и повезују са хидрауличким компонентама (пумпама, хидромоторима, вентилима и др.) [2].

7.5 Хидраулички акумулатори

Појам хидраулички акумулатор подразумева групу уређаја који имају различите конструктивне облике, а њихов задатак је да акумулирају хидрауличку енергију или одређени волумен флуида, у време када су они потребни извршним ораганима, и да их ослободе хидрауличном систему онда кад их требају. Употреба ових врста акумулатора је врло корисна у случајевима код којих је повремено потребно развити веће протоке. Пошто се акумулирана енергија може предати систему за веома кратко време. Такође, у случају отказа пумпе акумулатор може компензовати губитке који су настали услед цурења коз зазоре и процепе: Акумулатори су такође корисни у апсорпцији хидрауличног удара [3].

На сликама доле можемо видети конструкционе скице три врсте хидрауличног акумулатора:

- хидраулички акумулатор са теговима
- хидраулички акумулатор са опругом
- хидраулички акумулатор са гасом

Хидраулички акумулатори који користе тегови (Слика 26.) се углавом избегавају пошто због самих тегова су доста габартни и тешки. Код њих се акумулација енергије врши тако што се потенцијална енергија акумулира помоћу тегова који делују на клип.



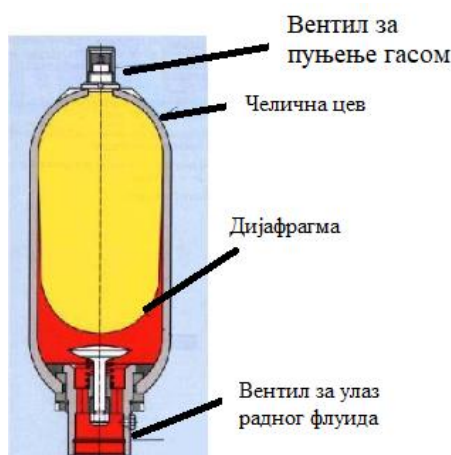
Слика 26. Изглед хид. акумулатора са теговима [11]

Хидраулички акумулатори који делују са опругом (Слика 27.) се користе у системима где су релативно мали притисци због тога што би у супротом на великим притисцима биле поребне велике опруге које би биле несразмерне и тешке. Рад се заснива на томе што се код њих радна течност сабија под утицајем еластичне деформације опруга.



Слика 27. Изглед хид. акумулатора са опругом [11]

Хидраулички акумулатори са гасом (Слика 28.), су и најчешће коришћени акумулатори јер користе инертан гас (азот, хелијум) за свој рад. Рад ових акумулатора се заснива на томе што се у самом акумулатору налази дијафрагма која, уколико је притисак који треба да се акумулира виши од притиска у самој дијафрагми, се скупља. Док у случају пражњења, давања енергије систему, притисак у дијафрагми се повећава и долази до њеног ширења [2,3].



Слика 28. Изглед хид. акумулатора са дијафрагмом [9]

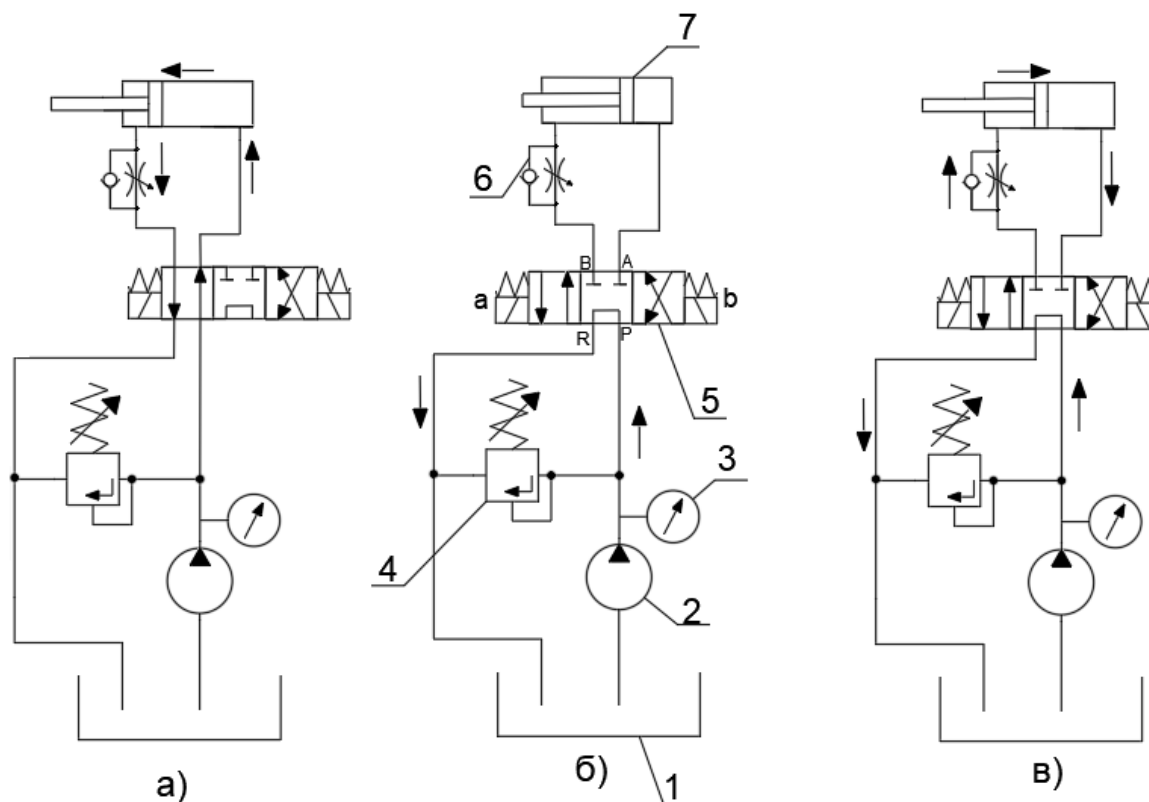
8.0 Типови хидрауличког система

Основни типови хидрауличког система[3] се могу поделити на три категорије:

1. Отворени хидраулички систем
2. Полуотворени хидраулички систем
3. Затворени хидраулички систем

Слика 29. приказује изглед једног типичног отвореног хидрауличког система у три карактеристична положаја: стање мировања, клип се креће у једну страну и клип се креће у другу страну.

Резервоар (1) у коме стоји радни флуид (уље) бива усисан мотором (2) и потискује се према електромагнетном разводном вентилу (5). Пошто се опруге електромагнетног вентила не налазе под напоном оне центрирају клип вентила у средњи положај, на слици (под б) се види да све док је разводник у средњем положају уље ће се враћати натраг у резервоар. Овај положај у праски се такође назива растеретни, пошто код њега пумпа ради са ниским притиском, који је заправо еквивалент суми постојећих отпора од пумпе до разводног вентила и од разводника до резервоара.

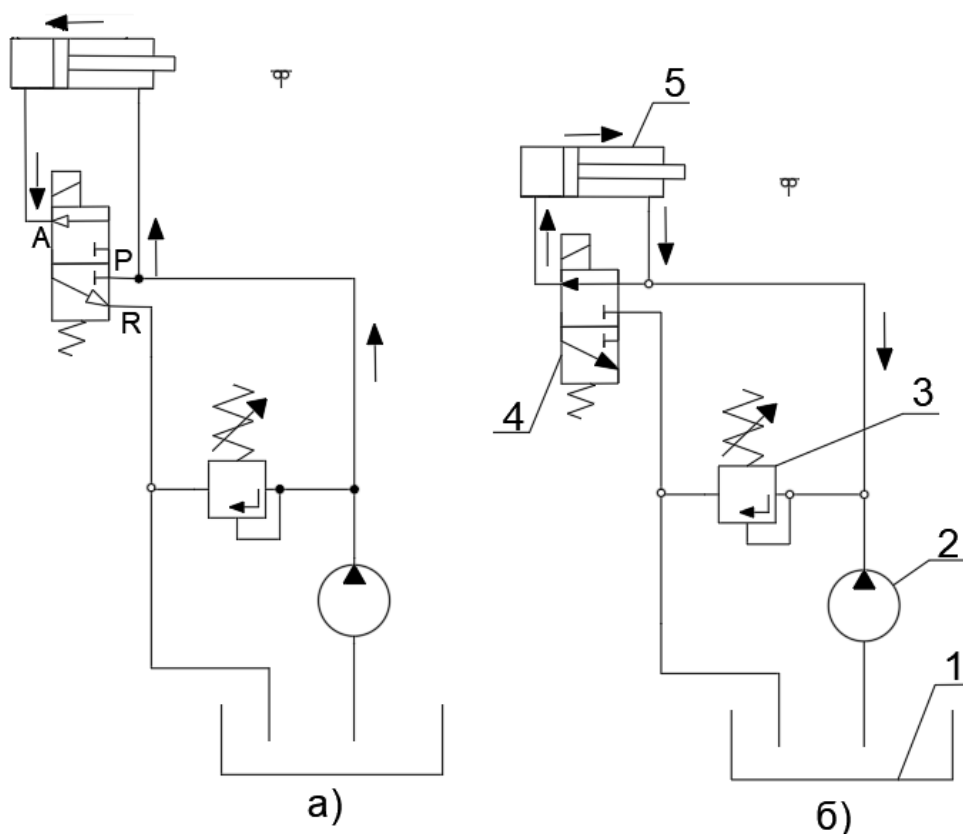


Слика 29. Шема отвореног хидрауличног система [2]

Кад желимо да померимо клип хидрауличног цилиндра (7) у лево, под напон се доводи електромагнет (ознака а), па се клип помера у лево (радни ход) пошто стрелице у разводнику на слици 29.а показују смер кретања радног флуида. Повратни вентил служи да регулише брзину протока флуида па самим тим и брзину извлачења клипњаче - највећи дозвољени радни притисак се подешава уз помоћ вентила за ограничење притиска (4), који је све време у полуотвореном положају, како би се одвео вишак уља у резервоар.

Да би вратили клип у почетни положај, који се такође може назвати и повратни ход, треба активирати електромагнет б, разводног вентила (5). У њему ће се тада остварити токови кретања приказаним стрелицама (Слика 29.в), па се уље потискује преко неповратног вентила у десну страну клипњачиног цилиндра. У овом случају количину уља коју пумпа потискује се не регулише, па је вентил за ограничење притиска (4) затворен. У систему влада притисак једнак укупној суми отпора и притиска, потребног да се обави повратни ход клипа цилиндра.

На слици 30. можемо уочити шему два карактеристична положаја полузатвореног хидрауличног система, и то када се клип хид. цилиндра креће лево који је повратни ход (Слика 30.а) и када се клип креће десно који је радни ход цилиндра (Слика 30.б). На шеми се може уочити да не постоји неутрални положај система. Након доласка клипа у леви или десни крајњи положај, систем се искључује уз помоћ сигнала који обезбеђују електрични сензори монтирани у крајњим положајима. Ако пумпа и даље ради она ће уље потискивати назад у резервоар преко вентила за ограничење притиска.



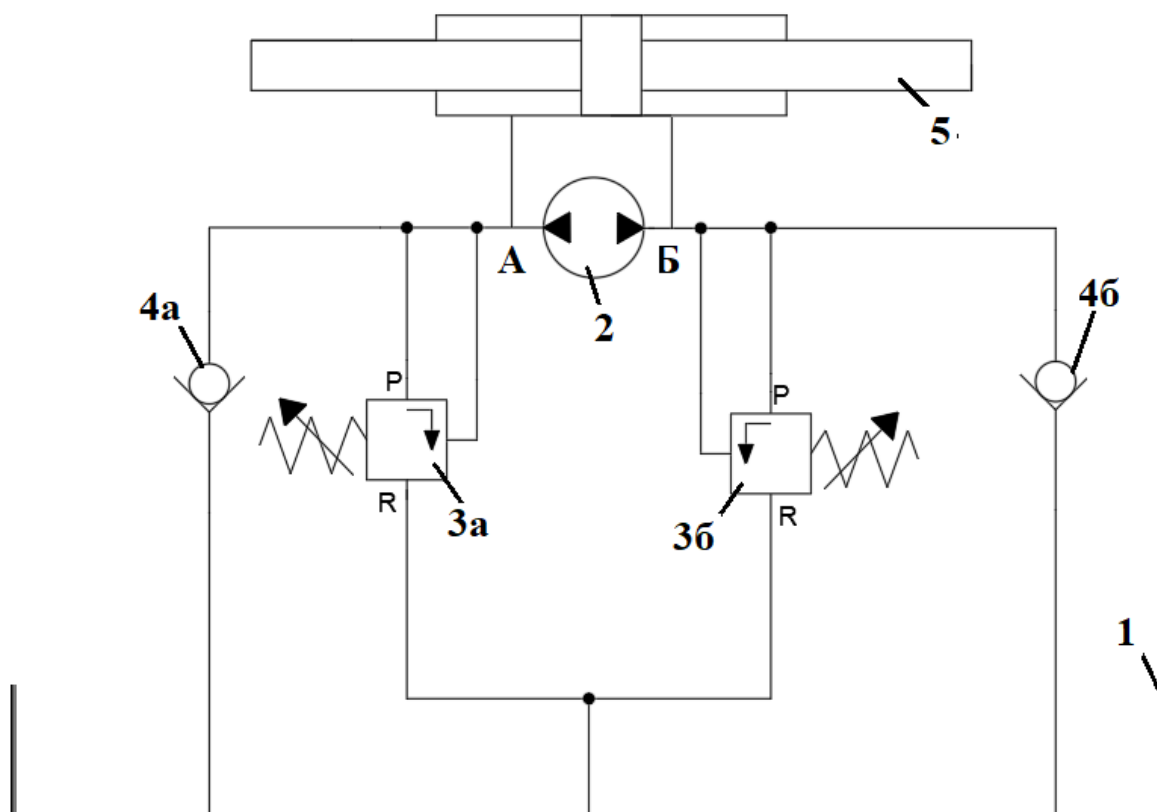
Слика 30. Шема полуотвореног хидрауличног система [2]

Положај елемената хидрауличног система, приказан на слици 30.а, обезбеђује повратни ход клипа. Електромагнет разводника вентила (4) није под напонам, па опруга са супротне стране доводи клип вентила у положај који обезбеђује проток приказан стрелицама, док је други прикључак затворен. То за последицу има да се уље потискује преко разводног вентила правцем приказаним стрелицама према резервоару. Брзина протока клипа ће бити функција дотока количине уља и површине клипњачине стране (површина клипа која је умањена за површину клипњаче).

Радни ход клипа се остварује када се електромагнет разводног вентила (4) стави под напон, положај разводног вентила се доводи у позицију приказану на слици 30.б. Уље тече приказаним смером стрелица, док је други прикључак затворен. Такав положај разводног вентила омогућава да се у клипну страну потискује збирна количина уља. Брзина кретања клипа у радном ходу ће бити повећана у функцији укупне количине уља и површине клипа. Овакав се систем користи углавном кад је потребно повећати брзину радног хода клипа.

Шема затвореног система је уједно и последњи могући тип хидрауличног система који је приказан на слици 31. Оваква врста система се најчешће користи када се за радни и повратни ход клипа цилиндра, или ротора хидрауличног мотора, може искористити количина уља из повратне гране, која би се код отвореног хидрауличног система враћала у резервоар. У затвореном хидрауличном систему користе се пумпа двосмерног дејства (2), код које је у једном радном такту страна (А) усисна и (Б) потисна, а у другом такту је страна (Б) усисна а страна (А) потисна. На тај начин се уље из леве или десне стране хидрауличног цилиндра усисава, а пумпа га потискује у супротну клипљачину страну. У идеалном случају остварује се затворени круг циркулације, али пошто систем никада није идеално затворен, постојаће хидраулички губици. Осим тога, и вентили за ограничење притиска се повремено отварају због

преоптерећења или неусуглашених токова уља, па је неопходно обезбедити и накнадно напајање усисног вода додатном количином уља. Када је страна пумпе (А) усисна, додатна потребна количина уља се допуњава преко цевовода на који је постављен неповратни вентил (4а), а кад је страна пумпе (Б) усисна, напајање се врши преко цевовода на коме је постављен неповратни вентил (4б). У систему се постављају два вентила (3а) и (3б) који врше ограничење притиска у водовима [2].



Слика 31. Шема затвореног хидрауличког система [2]

9.0 Одржавање хидрауличног система

Да би хидраулички систем био исправан неопходно је вршити радне активности који се могу поделити на: инспекцију, одржавање и оправке.

9.1 Инспекцијске активности

У току експлоатације хидрауличких система за време рада или док је систем у мировању спроводе се инспекцијске активности. Код великих хидрауличких система обављају се дневне, месечне инспекције као и инспекције пред заустављање система на дужи временски период. Важније активности инспекције су:

Провера нивоа течности у резервоару - Врши се у редовним размацима, у почетку рада чешће. Провере треба се се врше и после поправки делова система и за време поновног пуштања у рад. Превисок ниво течности у резервоару после неког времена рада сигнализира да постоји пражњење делова система који леже на вишем нивоу од резервоара и да постоји сливање течности, а то омогућава и продирање ваздуха у систем.

Провера заптивности система споља - Проверавају се цевоводи и све компоненте хидрауличног система.

Провера количине унутрашњих цурења - Код хидромотора и неких пумпи може се провером количине цурења – проток на дренажним водовима, донети закључак о стању похабаности ових компонента система. То важи и за неке управљачке, регулационе и седишне компоненте.

Провера температуре течности у раду - Промена повишења радне температуре, у односу на нормалну, упућује на тражење узрока који до тога доводе. Узроци ове појаве могу бити: да је измењивач топлоте (хладњак за уље) по спољашњој површини задрљан и да нема довољне размене топлоте, не функционише вентилатор, прекинут или смањен довод воде, талог у хладњаку за уље и др.

Провера притиска – Врши се на вентилу за ограничење притиска на примарној и секундарној старни система, затим вентилу за ограничење притиска управљачког кола, притиска у акумулатору, као и провера и подешавање притиска код вентила за редукцију притиска.

Провера чистоће радне течности - Може се вршити визуелно: замућеност, изглед (тамнији), талог у резервоару. За прецизно одређивање чистоће радне течности могу да се примене три методе.

Прва метода је графометријско одређивање присуства чврстих честица у уљу помоћу финог филтрирања одређене количине течности (100 милилитра уља). Мери се тежина филтера пре и после филтрирања и тиме се стиче увид нивоа присуства опилка у једном литру уља, изнад одређене величине честица. Пошто сам филтер има поре које могу да пропуштају одређену величину опилка, оне честице које су димензионо веће од пора, филтер задржава.

Друга метода је бројање честица на електронским уређајима и соритирање. Ови уређаји могу да раде потпуно аутоматски.

Трећа метода је микроскопско испитивање. Помоћу ове методе може се утврдити састав честица, њихова величина. Неколико капи уља се стави преко листа упијача или филтера. Честице остају на површини и могу се анализирати под микроскопом.

Провера запрљаности филтера - Честице чврстог материјала у уљу су главни узрок хабања хидрауличких компоненти. До 80% хидрауличких уређаја који се индустријски ремонтују отказали су због хабања у току рада, а око 10% отказа је због кавитације.

Провера запрљаности филтера може да се обавља визуелно али је доста непоуздана. Тачнији подаци о запрљаности филтера добијају се мерењем разлике притиска на филтерском елементу или мерењем притиска испред филтерског елемента код филтера за повртни вод - ако на повратном воду, иза филтера, нема никаквог отпора струјању течности. Удео ситнијих честица које пролазе кроз поре филтера насталих при хабању механичких компонента није занемарљив. Зато је пожељно повремено филтрирати целу количину уља из система, да би се и ове честице уклониле. Замена филтера најчешће се обавља по препоруци произвођача система на основу броја сати рада.

Провера хемијских особина радне течности – Важна је због утицаја на трајност уља и хемијску стабилност. Треба, по утврђеним препорукама, вршити проверу хемијских карактеристика: киселост, сапунификациони број, удео продукта оксидације, вискозност и индекс вискозности. Ово је могуће утврђивати у лабораторијским условима. За велике количине уља исплативања су исплатива, а за мање количине замена уља је често јефтинија од трошкова испитивања.

Провера снаге и брзине - Провера снаге у хидрауличком систему може да се врши преко следећих параметара: мерењем времена извлачења и увлачења клипњаче у поређењу са пројектованим вредностима, мерењем излазних бројева обртаја код мотора. Контрола снаге за погон пумпе периодично се проверава. Са резултатима мерења ових параметара могу се извучити закључци о стању целог постројења.

Провера система цевовода и цревовода - Код ових компонената важно је проверавати заптивеност. Цевоводи се проверавају у погледу чврстог налегања у тачкама у којима се врши њихово причвршћивање за конструкцију. Може доћи до оштећења цевовода или цревовода на местима додира са другим елементима због трења које се појављује у додиру при вибрацијама. Вршити се провера и на доследност уградње, а цевоводе треба проверавати и на запрљаност.

Провера акумулатора - Периодично се врши провера притиска предпуњења гаса при приближној истој температури околине и без притиска у хидрауличном систему. Такође се врши провера херметичности на страни радне течности [12].

9.2 Активности одржавања

У пракси активности инспекција и одржавања нису строго подељене, често се преклапају. Радови одржавања најчешће се изводе у вези са инспекцијом, проверама стања хидрауличног система. Важније активности одржавања могу се разврстати на следећи начин.

Допуњавање радне течности - По правилу се изводи допуњавањем истих карактеристика и истог произвођача.

Замена радне течности - Ако треба да се врши замена уља, радити само уз препоруку произвођача система и мења се комплетна количине. Замена радне течности врши се када радна течност почне значајно да мења особине, када је значајно задрљана. Пожељно је код сваке замене извршити испирање целог система. Треба увек при сипању нове или пречишћене течности вршити филтрирање исте.

Чишћење филтера - При свакој замени уља треба заменити и филтер или га на прописан начин очистити. Ситније честице које се наталоже у вишеслојном филтеру нису видљиве голим оком и тешко је визуелно проценити степен задрљаности филтера. Најчешће се примењују филтери са показивачем задрљаности који имају оптичке или електричне показиваче.

Подешавање притиска - Када дође до одступања притиска од дозвољених вредности, врши се подешавање. То је посебно важно за вентиле за ограничење притиска у радном подручју, у управљачким колима и у подручју ниског притиска, за вентиле за редукцију притиска, укључне и искључне вентиле у функцији притиска.

Отклањање цурења у систему цевовода - Ови радови се обављају само када је систем без притиска. Цурење на местима на еластомерним елементима (о-прстен, профилни заптивни прстенови и др.) не могу се отклонити накнадним притезањем, јер су ови заптивни елементи или оштећени или су деформацијама отворднули. Поново заптивање је могуће само са заменом запивног елемента новим.

Чишћење постројења - Спољашње честице постројења је потребно чистити из више разлога: да би се открила цурења, да се при допуњавању система у систем не унесе прљавштина, због ефикаснијег одвођења топлоте и уопште због хигијене рада са системом код одржавања.

Одржавање резервоара под притиском - Повремено се врши провера притиска у резервоару. Прописи за резервоаре под притиском и сами резервоари имају за циљ да обезбеде сигурност у раду и да спрече угрожавање људи и околине.

Замена истрошених делова - На застоје код хидрауличких система највише утиче: динамичко оптерећење притиском, брзина струјања, врста радне течности, температурно оптерећење, утицај околине и др. Превентивна замена елемената хидрауличног система има смисла онда када отказ ових компонената може имати веће штете - тотално оштећење на већим делу погонског механизма или код хидрауличких уређаја. Превентивна замена хабајућих делова има смисла ако постројења раде у саставу погона машина и ако су интегрисана у произвођачеве линије, тако да застој има за последицу заустављање целе производне линије [12].

Хабајући елементи:

- сви статички и динамички примењени елементи заптивача на бази еластомера или полиуретана, такозвани меки заптивачи
- уметци вентила за ограничење притиска, вентила за редукцију притиска, укључних и искључних вентила у функцији притиска
- електромагнети, посебно суви магнети за наизменичну струју када је велики број укључивања у питању
- филтерски елементи посебно ако се непрекидно не надзире - контролише граница капацитета задржавања нечистоће
- елементи преноса код елестичних спојница на вратилима
- цревоводи у подручју високог притиска ако на основу услова примене произвођач може гарантовати само један број промене оптерећења.

Закључак

Као што је показано у овом завршном раду, хидраулички систем представља један веома комплексан систем. Зато пројектант оваквих система има веома озбиљну и одговорну позицију која захтева добро познавање изложене материје.

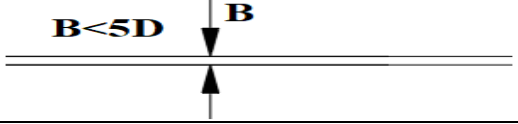
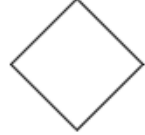
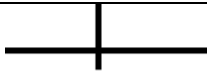
Замисао завршног рада је била да се изврши систематизација основних компонената (пумпе, мотори, разводници, вентили) као и приказ основних хидрауличких система који се срећу у пракси, као и њихово одржавање. У овом раду су у мањој мери биле изложене конструкционе карактеристике самих компоненти, из разлога што се ова грана аутоматског управљања више бави применом ових компоненти него њиховим дизајном и унапређивањем. Због тога је главно тежиште било на њиховој функцији у самим системима, као и радним условима у којима се они користе.

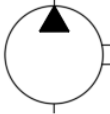
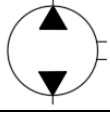
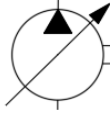
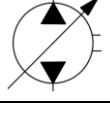
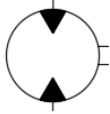
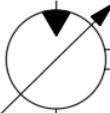
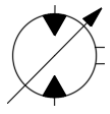
Од значаја би било да се у будућем раду посвети време проучавању пројектовања реалних и сложених хидрауличких система, као и њихово управљање на савремен начин (помоћу рачунара, ПЛЦ-а, микроконтролера), а што ће засигурно бити предмет неких даљих истраживања.

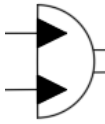
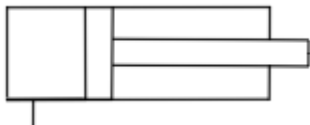
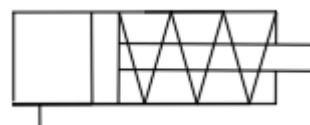
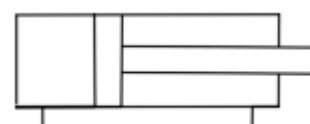
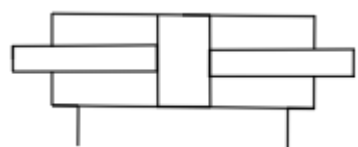
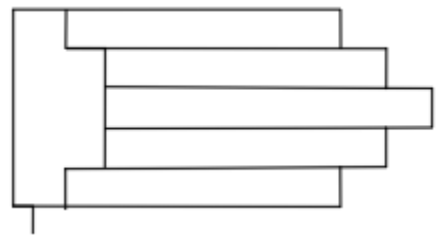
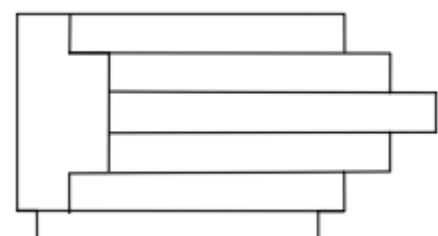
Литература:

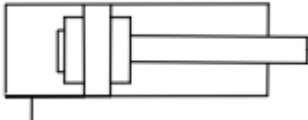
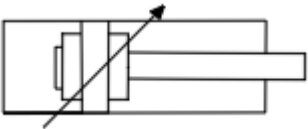
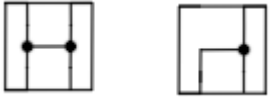
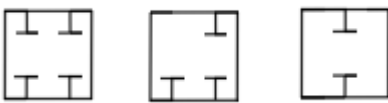
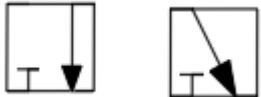
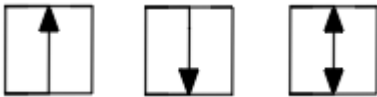
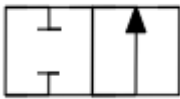
- [1] <https://about-history.com/the-inventions-of-archimedes-that-are-still-in-use-today/> (Сајту приступљено у априлу, 2019.)
- [2] В. Савић, *Уљна хидраулика*, Зеница, 1990.
- [3] С. Јовановић, *Уљна хидраулика I део*, Техничка књига, Београд, 1979.
- [4] https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_4578/objava_19703/fajlovi/0%20ОН%20%20Fizicka%20svojstva%20tecnosti%20i%20velicine%20i%20dimenzioni%20sistem.pdf (Сајту приступљено у јануару, 2019.)
- [5] Н. Лукић, скрипта са предавања (Термодинамика), Факултет техничких наука, Крагујевац
- [6] Ж. Адамовић, М. Кутин, М. Пухарић, М. Адамовић, *Хидраулика и пнеуматика*, Институт ГОША, Београд, 2009.
- [7] Т. Башта, *Машинска хидраулика*, Машински факултет, Београд, 1978.
- [8] М. Поповић, С. Косовац, *Хидраулика и пнеуматика*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1987.
- [9] <http://pubhtml5.com/bdxz/dcwt/basic> (Сајту приступљено у фебруару/марту, 2019.)
- [10] <https://hidropneumatskekomponente.wordpress.com/2011/12/02/krilne-pumpe/> (Сајту приступљено у марту, 2019.)
- [11] http://engineering.richmondcc.edu/Courses/EUS%20220/Notes/hydraulic%20Accumulator_3.pdf (Сајту приступљено у марту, 2019.)
- [12] Д. Јовановић, Н. Грујовић, *Примењена хидраулика функционалност и одржавање*, Пожаревац, 2002.

Прилог – таблица симбола хидрауличких компоненти

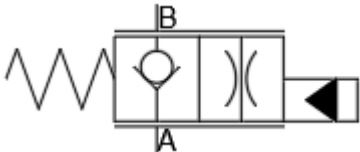
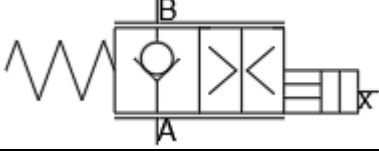
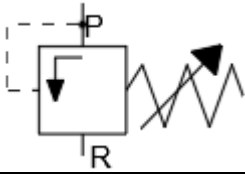
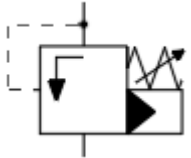
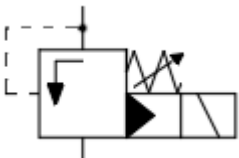
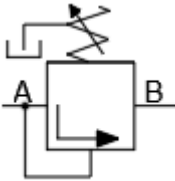
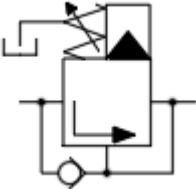
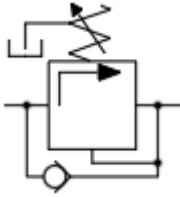
Назив елемента или ознака	Врста	Симбол
	Линије	
Радни цевовод		
Управни цевовод		
Дренажни цевовод		
Савитљиви цевовод		
	Двострука линија	
Осовина полука		
	Квадрат, правоугаоник	
Вентил, цилиндар		
	Квадрат – дијагонално постављен	
Филтер, науљивач, грејач, хладњак		
	Разне ознаке	
Грејање цевовода		
Цевоводи који се мимоилазе		
Пригушник		
Млазница		
Опруга		
Хидрауличко управљање		
Пнеуматско управљање		

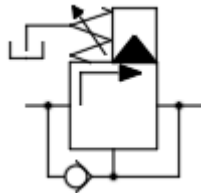
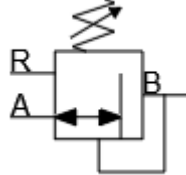
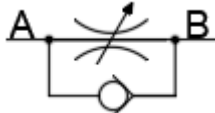
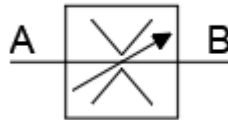
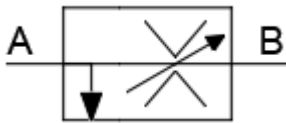
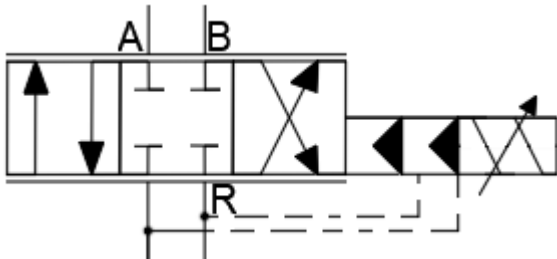
Ток струјања		
Симбол за регулацију		
Симбол блок групе		
	Пумпе и хидраулични мотори	
	Пумпа константог капацитета	
Са једним смером струјања		
Са два смера струјања		
	Пумпа са регулацијом капацитета	
Са једним смером струјања		
Са два смера струјања		
	Пумпа Константон-ротациони мотор	
Са једним смером ротације		
Са два смера ротације		
	Подесиви ротациони мотор	
Са једним смером ротације		
Са два смера ротације		

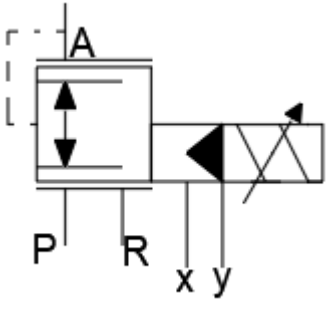
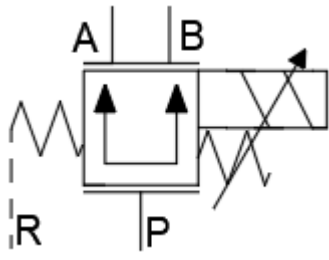
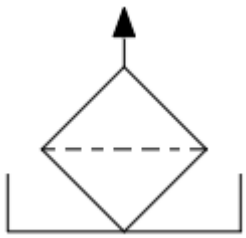
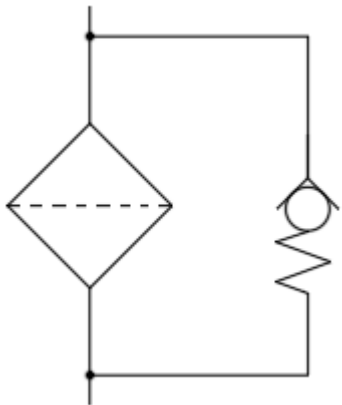
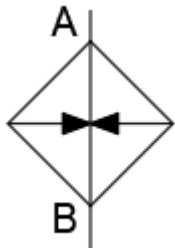
	Закретни (осцилаторни) мотор	
	Хидраулични цилиндри	
	Цилиндри једносмерног дејства	
Повратак клипа спољном силом		
Повратак клипа са опругом		
	Цилиндар двосмерног дејства	
Са једностраном клипњачом		
Са двостарном клипњачом		
	Телескопски цилиндар	
Једносмерног дејства, повраак клипа спољном силом		
Двостраног дејства		
	Цилиндар са постепеним зауостављањем клипа	

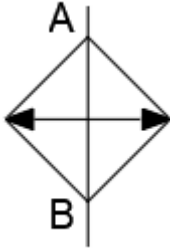
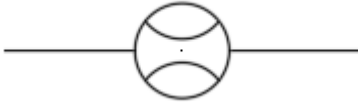
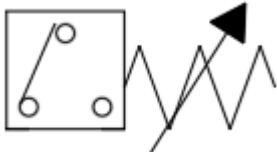
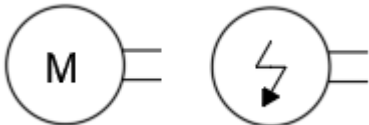
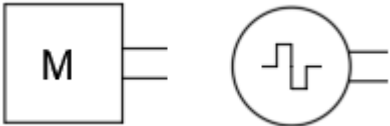
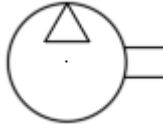
Без подешавања брзине заустављања		
Са подешавањем брзине заустављања		
	Принцип означавања вентила	
Радни цевоводи		A, B, C
Довод уља под притиском		P
Одвод уља у резервоар		R, S, T
Дренажни цевовод		L
Управљачки цевовод		X, Y, Z
Обилазни положај		
Пролазни положај		
Запречни положај		
Запречно-поврати положај		
Проточни положај		
Положај напред – паралелно		
Положај назад – унакрсно		
	Примери означавања разводних вентила	
2/2 разводни вентил		

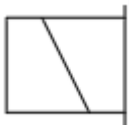
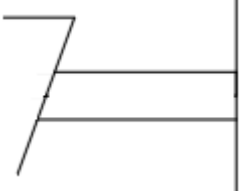
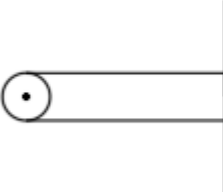
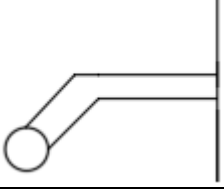
3/2 разводни вентил		
4/2 разводни вентил		
4/3 разводни вентил		
3/3 разводни вентил		
	Разводни вентил са седиштем	
Неповратни вентил		
Неповратни вентил са хидрауличним управљањем		
Двострани неповратни вентил		
2/2 разводни вентил		
4/3 разводни вентил		
	Логички вентили	
Без пригушења		
Са пригушењем		
	Вентили са постепеним	

	довођењем у радни положај	
Са хидрауличним управљањем		
Вентили за кочење		
	Вентили за ограничење притиска	
Директног дејства		
Индиректног дејства		
Индиректног дејства са електромагнетним растеређењем		
	Редоследни вентили	
Директног деловања		
Индиректног деловања са неповратним вентилом		
	Регулатор притиска	
Директног дејства са неповратним вентилом		

Индиректног дејства са неповратним вентилом		
Трограни вентили директног дејства		
	Проточни вентили	
Запречни вентили		
	Пригушни вентили	
Неподесиви		
Подесиви		
Подесиви са неповратним вентилом		
	Регулатор протока	
Фини пригушник		
Двограни регулатор протока		
Трограни регулатор протока		
	Серво вентили	
Серво разводни вентили		

Серво регулатор притиска		
Серво регулатор протока		
	Помоћни елементи или прибор	
Резервоар		
Усисни филтер		
Повратни филтери са неповратним вентилом		
Грејач		

Хладњак		
Манометар		
Термометар		
Мерач брзине протока уља		
Мерач протока		
Електро прекидач		
	Елементи за трансформацију енергије	
Електромотор		
Мотор са унутрашњим сагоревањем		
Компресор		
Хидраулични акумулатор		

	Симбол погона елемнената	
Хидраулични		
Пнеуматски		
Са опругом		
Електромотором		
Електромагнетом		
Ногом преко полуге		
Преко ролне		
Преко ролне и полуге		
Ручни тастер		