

## ЧАСТИНА 2. ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ ТА АПАРАТУРА

Гідропривод після електроприводу займає друге місце за масштабами використання в техніці і в порівнянні з електроприводом має певні переваги і недоліки. До переваг можна віднести:

- значно більша силова напруженість;
- малі габарити і маса, що припадає на одиницю потужності, що передається (1.2-2 кг на 1 кВт);
- низька інерційність (момент інерції рухомих частин гідроприводу в 5-6 разів менший за момент інерції рухомих частин електромашини тієї ж потужності);
- висока плавність регулювання швидкості у широкому діапазоні при забезпеченні високої жорсткості механічної характеристики;
- простота захисту від перевантажень;
- можливість широкого використання стандартних елементів;

Основними недоліками є:

- транспортування енергії пов'язане із втратами значно більшими, ніж у електропередачі;
- чутливість до якості робочої рідини;
- зниження ККД за рахунок внутрішніх та зовнішніх витоків робочої рідини, які збільшуються в міру вироблення технічного ресурсу;
- підвищена пружність гідропередачі.

Залежно від характеру руху вихідної ланки гідродвигуна розрізняють гідроприводи обертального, поворотного (менше 360°) та поступального рухів. По виду джерела енергії гідроприводи поділяють на магістральний (в якому робоча рідина подається в гідродвигун від магістралі, що не входить до складу приводу і живить кілька гідроприводів), насосний (насос не входить до складу приводу), акумуляторний, насосно- акумуляторний.

Залежно від способу управління рухом вихідної ланки розрізняють приводи з дросельним, об'ємним і об'ємно-дросельним регулюванням і гідроприводи з управлінням приводним двигуном, який змінює частоту обертання насоса.

Регулювання швидкості може здійснюватися вручну - гідропривод із ручним керуванням; автоматично - гідропривод з автоматичним керуванням; за заданою програмою – програмний гідропривод.

Якщо в гідроприводі швидкість вихідної ланки підтримується постійною при зміні впливів, то такий гідропривод називається стабілізованим.

Особливе місце серед керованих гідроприводів займає наступний гідропривод, в якому рух вихідної ланки змінюється за певними законами в залежності від впливу, що задається, величина і характер якого заздалегідь відомі.

Гідропривод являє собою сукупність джерела енергії та пристроїв для її перетворення та передачі за допомогою рідини до робочого органу машини. Енергія до гідроприводу надходить від зовнішнього джерела - двигуна (електричного, внутрішнього згорання і т. п.), який приводить в дію насос - внутрішнє джерело енергії. Енергія від насоса передається потоком робочої рідини через трубопроводи до гідродвигуна. Управління потоком рідини здійснюється розподільчою і керуючою апаратурою. Для запобігання гідросистеми від поломок служать запобіжні клапани, а забезпечення безперебійної роботи гідросистеми в заданому режимі здійснюється додатковою оснасткою, що включає баки, фільтри, охолоджувачі, прилади КВП і т.д.

Умовні позначення окремих елементів загального призначення у гідросистемах наведено у *таблиці 2.1*.

## **РОЗДІЛ 5.**

### **ГІДРОНАСОСИ І ГІДРОАКУМУЛЯТОРИ**

#### **1.НАСОСИ**

Насос є основним елементом гідросистеми, який перетворює механічну енергію, прикладену до його приводного валу, в енергію руху робочої рідини під тиском. Витіснення рідини з робочих камер насоса під тиском і заповнення нею всмоктувальних камер відбувається в результаті зменшення і відповідно збільшення об'єму цих камер, герметично ізолюваних між собою.

Насоси вибирають з каталогів переважно за двома параметрами: тиску  $p$  (Па) і подачі (витрата)  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$  або  $\text{л/хв}$ ). Для вибору приводного двигуна необхідно знати частоту  $n$  обертання валу насоса.

Потужність електродвигуна незалежно від типу насоса визначається за формулою:

$$N = \frac{p \cdot Q}{(1000 \cdot \eta)}, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

де  $\eta$  - загальний ККД насоса (рівний добутку об'ємного та механічного ККД насоса). Хвилину подачу насоса  $Q$ , якщо відомі його робочий об'єм  $V_0$ , частота обертання  $n$  і об'ємний ККД  $\eta_0$  можна визначити за формулою:

$$Q = V_0 \cdot n \cdot \eta_0 \quad (2.2)$$

Є різноманітні конструкції насосів: шестеренні, кривошипно-поршневі; радіально-поршневі; аксіально-поршневі; пластинчасті (лопатеві); гвинтові та ін.

Умовні позначення насосів наведено на *рис. 2.1*. Загальні позначення незалежно від виду насоса: *а* - нереверсивний з постійною подачею; *б* - реверсивний із постійною подачею; *в* - нереверсивний з регульованою подачею; *г* - реверсивний з регульованою подачею. Позначення із зазначенням виду насоса: *д* – шестеренний; *е* - кривошипно-поршневий; *ж* - радіально-поршневий; *з* - аксіально-поршневий; *к* - пластинчастий.

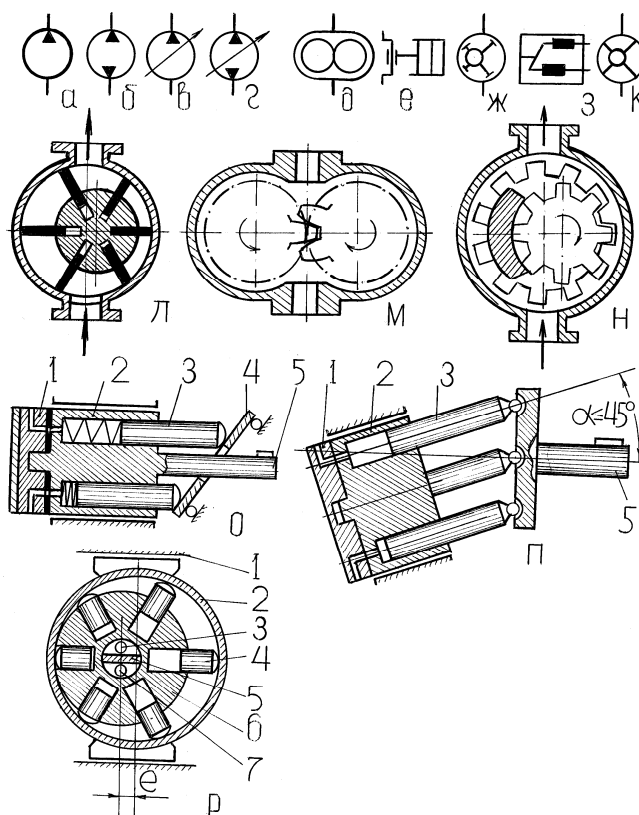


Рисунок 2.1. Умовні позначення (а-к) та принципові схеми (л-р) насосів

Найбільш широкого поширення набули пластинчасті, шестеренні, аксіально-поршневі та радіально-поршневі насоси.

У пластинчастому насосі (*рис. 2.1, л*) елементи витіснення виконуються у вигляді пластин (лопатей), а витісняються (робочі) обсяги утворюються двома сусідніми пластинами та поверхнями статора та ротора.

Таблиця 2.1. Умовні позначення окремих елементів гідроприводу.



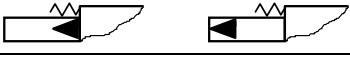

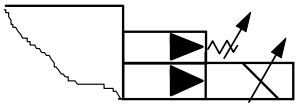


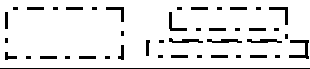


№ п/п	Найменування	Позначення
1	2	3
1	<b>Линии механічного зв'язку</b>	
	Загальне позначення	
	Рух прямолінійний:	
	в одному напрямку	
	в обох напрямках	
	Рух обертальний:	
	в одному напрямку	
	в обох напрямках	
2	<b>Линії гідравлічного зв'язку</b>	
	Загальне позначення	
	Робочі лінії:	
	всмоктування	S
	напору	P
	зливання	T
	підведення до споживача	A
	до манометра	M
3	<b>Линії управління</b>	
	Загальне позначення	
	напору	Px
	зливання	Ty
	дренажу	L
4	<b>З'єднання ліній зв'язку</b>	
5	<b>Перехрещення ліній зв'язку</b>	
6	<b>Напрямок дії напору</b>	
	у гідролініях	
	у гідроелементах	
7	<b>Рух потоку в гідроелементах:</b>	
	в одному напрямку	
	в обох напрямках	
	у зустрічних напрямках	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
	у зворотному напрямку	
	у двох напрямках	
	у трьох напрямках	
	з одностороннім обмеженням	
	з двостороннім обмеженням	
	з перекриттям	
8	Опір у лінії зв'язку	
9	Місце видалення повітря	
10	<b>Електричні лінії:</b>	
	однофазна	
	трифазна	
11	Можливість регулювання	
	Регулювання автоматичне	
12	Вал, важіль, стрижень	
13	Шарнір	
14	Муфта зчеплення	
15	Трубопровід гнучкий, шланг	
16	Кінець трубопроводу із заглушкою	
17	Вентиль запірний	
18	<b>Роз'ємні з'єднання:</b>	
	загальне позначення	
	фланцеве	
	різьбове	
	еластичний	
	шарнірне (одно-, дво- та трьох лінійне)	
19	<b>Муфти швидкокорозійні:</b>	
	без зворотних клапанів	
	зі зворотним клапаном	
20	<b>Напівмуфти швидкокорозійні:</b>	
	без зворотного клапана	
	зі зворотним клапаном	
21	<b>Елементи управління</b>	
	Ручне керування	

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
	Загальне позначення	
	кнопка	
	рукоятка	
	педаля	
	штифт, кулачок	
	фіксатор	
	засувка	
	пружина	
	<b>Пневматичні елементи керування:</b>	
	пряме підведення керуючого повітря	
	непряме підведення керуючого повітря	
	скидання керуючого повітря	
	<b>Гідравлічні елементи керування:</b>	
	пряме підведення керуючої рідини	
	непряме підведення керуючої рідини	
	<b>Електричні елементи:</b>	
	електродвигун	
	електродвигун регульований без зворотного зв'язку	
	електродвигун регульований із зворотним зв'язком	
	електродвигун кроковий	
	електромагніт прямолінійного ходу з однією обмоткою	
	електромагніт прямолінійного ходу з двома обмотками однієї спрямованості	
	електромагніт прямолінійного ходу з двома обмотками різної спрямованості	
	електромагніт з пропорційним керуванням без зворотного зв'язку	
	електромагніт із пропорційним управлінням із зворотним зв'язком	
	вимикач кінцевий	
	<b>Комбіноване управління:</b>	
	рукоятка із пружиною	
	електромагніт зі зворотною пружиною	
	електромагніт зі зворотною пружиною та кнопкою аварійного приводу	
	електромагніт із гідравлічним приводом непрямої дії	

1	2	3
	електромагніт з гідравлічним приводом непрямої дії та поворотною пружиною	
	гідравлічний привід непрямої дії з трьома фіксованими положеннями	
	пружина з гідравлічним приводом за рахунок скидання керуючого напору рідини	
	пружина з перестановкою	
	електромагніт з пропорційним керуванням та гідравлічним приводом за рахунок скидання та розвантаження керуючого напору рідини та пружиною з перестановкою.	
22	<b>Ємності для робочої рідини</b>	
	бак під атмосферним тиском	
	бак з внутрішнім тиском вище атмосферного	
23	<b>Елементи модульного монтажу:</b>	
	монтажна плита, з'єднання плит	
	гідравлічні лінії у монтажних плитах	
	отвори в монтажних плитах (приєднувальні (а), із заглушкою (б)), сполучні лінії (в).	

Насоси поділяються на нерегульовані та регульовані. Основними елементами кожного з них є корпус, статор, ротор з пластинами, торцеві диски, вал з підшипниками, всмоктуючий і нагнітальний отвори. Відмінною особливістю регульованих насосів є те, що статорне кільце виконується рухомим у поперечному напрямку і за рахунок цього змінюється ексцентриситет щодо ротора і, отже, робочий об'єм насоса.

Ті та інші насоси працюють в такий спосіб. При обертанні валу з ротором пластини під дією відцентрових сил (у момент пуску) і тиску рідини (в подальшому) притиснуті до внутрішньої поверхні статора і переміщуються в пазах ротора у відповідності з профілем кривої статора. Об'єм камери між пластинами збільшується під час з'єднання її з вікнами всмоктування і заповнюється робочою рідиною. Під час з'єднання з вікнами нагнітання об'єм камери зменшується і рідина витісняється в лінію нагнітання. Насоси випускають із рівнем тиску 2.5; 6.3; 10; 12.5 МПа та подачі до 200 л/хв. Частота обертання валу - 1000 та 1500 об/хв, загальний ККД - 0.55...0.85 (таблиця II. 2.1).

Шестеренні насоси (рис. 2.1 м, н), які отримали свою назву через наявність двох робочих коліс - шестерень, є найбільш простими в

конструкції, відрізняються високими надійністю в експлуатації і довговічністю, малими розмірами і металоємністю. Випускаються двох типів: із зовнішнім зачепленням (*м*) і внутрішнім (*н*). Найбільшого поширення набули перші. Шестерні розміщуються в щільно охоплюючому їх корпусі, що має канали в місцях входу зубів шестерень в зачеплення (нагнітальний канал) і виходу з нього (всмоктуючий канал).

Насоси випускають з такими параметрами (*таблиця П. 2.1*): тиск - 2.5 МПа, подача - 12-150 л/хв, частота обертання - 1500 об/хв, об'ємний ККД - 0.75 ... 0.9, загальний ККД - 0.55. ..0.7. У спеціальних насосах ці параметри досягають таких величин: тиск - 10, 15, 20, 32 МПа, подача - до 1000 л/хв, частота обертання - 1500, 2500, 4000 об/хв, об'ємний ККД - до 0.8 - 0.95, загальний ККД - 0.87...0.9. Термін служби для окремих зразків не менше 5000 годин.

Аксіально-поршневі насоси (*рис. 2.1, о, н*) виконуються з похилим диском (*о*) і похилим блоком (*н*). Аксіально-поршневий насос з похилим диском - роторно-поршневий насос, у якого вісь обертання ротора 2 паралельна осям поршнів (плунжерів) або складається з ними кут менший або рівний 45°, причому ведуча ланка 5 і ротор розташовані на одній осі. Аксіально-поршневий насос з похилим блоком - роторно-поршневий насос, у якого вісь обертання ротора паралельна осям поршнів (плунжерів) або становить з ними кут менший або рівний 45°, але осі приводної ланки і ротора похилого блоку перетинаються.

У найпростішій конструкції насоса з похилим диском плунжери 3 притиснуті до похилого диска 4 за допомогою пружин. При цьому плунжери своїми сферичними кінцями спираються на диск або безпосередньо, або через проміжні сферичні підп'ятники, які істотно знижують контактні напруження в місцях торкання плунжерів диска. При обертанні приводного валу 5 поршні здійснюють зворотно-поступальний рух, що призводить до збільшення або зменшення робочого об'єму підпоршневих порожнин. В результаті відповідно відбувається підсмоктування робочої рідини в підпоршневій порожнині, і потім виштовхування її під тиском.

Аналогічно працюють і аксіально-поршневі насоси з похилим блоком. Для першого та другого типу насосів характерний торцевий розподіл рідини. Для цього застосовується пристрій, що являє собою два дугоподібні вікна, виконаних в нерухомому упорно-розподільному диску 1. Одне вікно є всмоктуючим, інше напірним. При обертанні ротора робочі камери з'єднуються з цими вікнами через отвори в роторі або замикаються, коли отвори опиняються в перемичках між вікнами.



Зміна робочого об'єму в аксіальних роторно-поршневих насосах, якщо вони виконані регульованими, здійснюється зміною кута нахилу диска або блоку, яке може виконуватися вручну, дистанційно за допомогою відповідного механізму (*таблиця П. 2.1*) або автоматично в залежності від тиску насоса. Ці насоси утворюють тиск до 32 МПа при подачі до 400 л/хв. Частота обертання валу – 1000-1500 об/хв, об'ємний ККД – 0.97...0.98, загальний ККД – 0.75...0.9.

Радіально-поршневі насоси також працюють на принципі зворотного-поступального руху рухомих поршнів (плунжерів) і являють собою насос, у якого вісь обертання ротора перпендикулярна осям поршнів або становить з ними кут більше 45°. Проста конструкція показана на *рис. 2.1, р*. Основними елементами насоса є статор 1, статорна обойма 2, обертовий циліндровий блок-ротор 6, поршні (плунжери) 4, розподільний пристрій, що складається з порожнистої осі ротора з ущільнювальною перегородкою 5.

При обертанні ротора, наприклад, за годинниковою стрілкою, робочі камери своїми каналами по черзі з'єднуються з отвором 3, через який всмоктується рідина, і з отвором 7, через який відбувається нагнітання рідини. Коли робочі камери проходять через нейтральне положення, то їх канали перекриваються ущільнювальною перегородкою. Сферичні головки поршнів притискаються до внутрішньої поверхні статорної обойми під дією відцентрових сил, тиском рідини або за допомогою спеціальних пружин. При переміщенні поршнів у бік збільшення камер відбувається всмоктування рідини, а в бік зменшення - виштовхування рідини. У регульованих насосах обойма 2 виконується з можливістю її зміщення, що забезпечує зміну ексцентриситету  $e$  і, отже, робочого об'єму насоса.

Деякі насоси оснащені додатковими насосами іншого типу. Так, наприклад, насоси 50 НС оснащені пластинчастими насосами з робочим об'ємом від 3.2 до 12.5 см<sup>3</sup> і тиском 6.3 МПа, а насоси НРР, НРД, НРМ, НРС - шестеренними насосами з відповідними параметрами, зазначеними в *таблиці П. 2*. Об'ємний ККД радіально-поршневих насосів становить 0.9-0.96, загальний ККД 0.7...0.9.

При виборі насоса слід враховувати наступне:

Шестеренні насоси забезпечують порівняно високий тиск і подачу, не вимагають високої чистоти робочої рідини, натомість мають підвищений рівень шуму при роботі та суттєву пульсацію потоку.

Пластинчасті насоси створюють дещо менший тиск, ніж шестеренні, проте мають значно нижчий рівень шуму, незначну пульсацію потоку, низьку вартість. У той же час чутливі до кидків тиску та зміни в'язкості рідини.

Аксіально-поршневі насоси забезпечують високий тиск і подачу при високому ККД. За розмірами, масою, трудомісткістю виготовлення, довговічності та вібростійкості кращі показники мають насоси з похилим диском. Разом з тим насоси з похилим блоком більш переважні з точки зору ККД, максимальної та мінімальної частот обертання, що всмоктує здатності при пуску. Ті та інші мають пульсуючу подачу.

Радіально-поршневі насоси мають високу надійність та ККД, можливість широкого регулювання подачі, низький рівень шуму. Їх застосовують переважно в стаціонарних машинах, які працюють при високих тисках.

## 2. ГІДРОАКУМУЛЯТОРИ

Гідроаккумулятор називається ємність, яка служить для накопичення енергії під час пауз і повернення її в період роботи агрегатів гідросистеми. Вони широко використовуються в гідравлічних пресах, виконавчих механізмах прокатних станів, електродугових печей і та іншому обладнанні.

При використанні акумуляторів можна знизити потужність насосів гідросистем до середньої потужності споживачів або забезпечити перерви в роботі насосів систем з епізодичною дією агрегатів. Через те, що накопичена в акумуляторі енергія може бути віддана в короткий час, акумулятор може швидко розвивати велику потужність. В окремих випадках важливим є також можливість забезпечення значно більшої швидкості агрегату в короткочасні проміжки часу, ніж та, яку може забезпечити насос. Гідроаккумулятори можуть тимчасово забезпечувати роботу системи у разі виходу з ладу гідронасоса, компенсують гідроудари та пульсації тиску, створювані насосами.

Гідроаккумулятори бувають трьох основних видів: вантажні, пружинні та пневмогідравлічні (газові) (рис.2.2).

У вантажних акумуляторах (рис. 2.2, а) використовується потенційна енергія вантажу, у пружинних (рис.2.2, б) - потенційна енергія стиснутої пружини, у пневматичних (рис. 2.2, в) - потенційна енергія стисненого газу (повітря, азоту, інертного газу). Для поділу рідини та газу в пневмогідравлічних акумуляторах використовуються поршні або пружні діафрагми (у деяких випадках акумулятори виконують без роздільних елементів).

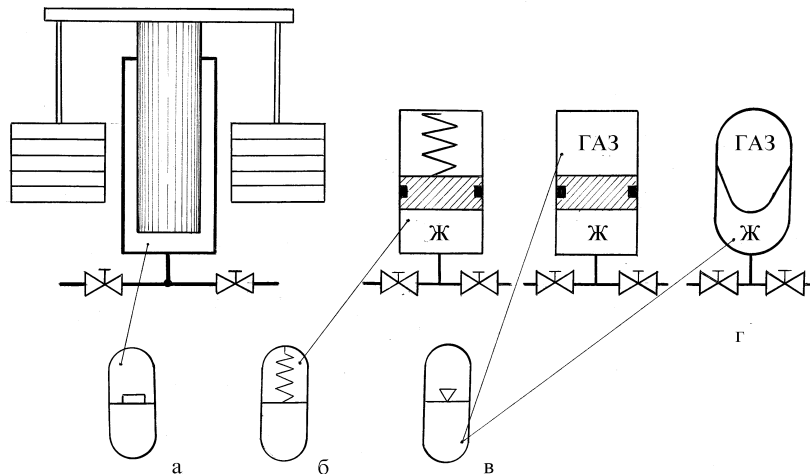


Рисунок 2.2. Гідроакумулятори та їх умовні позначення на схемах

Розміри акумуляторів вибирають з міркувань забезпечення необхідного тиску рідини  $p$  та її об'єму  $V$ . У вантажних акумуляторах величина тиску при різних положеннях однакова і визначається площею плунжера  $S$  і вагою вантажу  $G$ , тобто.

$$p = \frac{G}{(S \cdot \eta_a)}, \quad (2.3)$$

де  $\eta_a$  - ККД акумулятора.

У пружинному та пневмогідрравлічному акумуляторах величина тиску змінюється від максимального  $p_{\max}$  до мінімального  $p_{\min}$  значень відповідно в початковому та кінцевому положеннях поршня або діафрагми. Тому задаються  $p_{\max}$  і  $p_{\min}$ . Тоді жорсткість пружини, яка забезпечує необхідні величини тисків, визначається за формулою:

$$C = \frac{(p_{\max} - p_{\min}) \cdot \pi D^2}{4H}, \quad (2.4)$$

де  $D$  - діаметр поршня акумулятора;  
 $H$  - хід поршня.

У пневмогідрравлічних акумуляторах при ізотермічному процесі між початковим обсягом газу та кінцевим має місце така залежність:

$$V_k = (1.17 \dots 1.25) \cdot V_n. \quad (2.5)$$

Корисний об'єм акумулятора  $V$ , який дорівнює об'єму витісненої рідини, визначається за формулою:

$$V = V_n - V_k = (0.17 \dots 0.25) \cdot V_n \quad (2.6)$$

З цього виразу видно, що корисний об'єм становить лише 17-25% початкового об'єму газу. Тому в цьому випадку, якщо необхідна значно більша величина корисного об'єму, використовують послідовне з'єднання балонів акумулятора, з яких лише один балон є пневмогідравлічним, а всі інші - пневматичні. Такі акумулятори використовуються в гідросистемах дугових електросталеплавильних печей з гідравлічними механізмами.