

РОЗДІЛ 9. ПРИСТРОЇ АНАЛОГОВОЇ ТА ЦИФРОВОЇ СЕРВО- ТЕХНІКИ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Якщо раніше гідропривід застосовувався в основному в механізмах і машинах, що не вимагали високої точності відпрацювання керуючого сигналу який подається в їх ланцюг, то зараз він набув широкого поширення в агрегатах, для нормальної роботи яких необхідні висока точність виконання програми, що задається, швидкодія і широкий діапазон регулювання швидкості. Так, наприклад, верстатні гідроприводи повинні мати діапазон регулювання швидкості до $1:10^5$, гранично високу точність позиціонування (до сотих часток мікрометра в позиційному обладнанні) з її тривалим збереженням в процесі експлуатації, досить висока швидкодія, необхідна для точності відтворення геометрії оброблюваного профілю.

Природно, що звичайним гідроприводом через стисливість рідини, витоків у гідросистемі, похибок у роботі гідроапаратури таких показників досягти неможливо. У зв'язку з цим виникла необхідність у розробці аналогової та цифрової сервотехніки.

Слово "аналог" грецького походження і означає відповідність, пропорційність іншому предмету, явищу або поняття, а слово "аналогічний" вказує на безперервність і неподільність процесу (величини) на окремі частини (на противагу слову "дискретний", що означає переривчастість).

Слово "серво" англійського походження і означає першу складову частину складних слів (допоміжний, що автоматично регулює або полегшує ручне управління). Так, наприклад, сервомотор [серво... + мотор] - силовий виконуючий пристрій, який перетворює енергію допоміжного джерела в механічну енергію переміщення (перестановки регулюючого органу керованого агрегату) за сигналом управління та застосовується в системах автоматичного управління.

В результаті розробки аналогової та цифрової сервотехніки виник синтез (гр. слово, що означає співжиття або співіснування) гідравліки та мікроелектроніки, що дозволило вводити коригуючий вплив по переміщенню, прискоренню та іншим параметрам, забезпечуючи динамічну оптимізацію гідросистем практично до межі їх фізичних можливостей.

Пристрій аналогової сервотехніки являє собою підсилювач потужності механічного або електричного (зміною величини і полярності постійного струму) керуючого впливу в потужність потоку робочої рідини зі зміною його напрямку відповідно до керуючого впливу. До таких пристроїв відносяться, перш за все, дроселюючі розподільники потоку, гідроапарати пропорційного управління та гідропідсилювачі.

Пристрій цифрової сервотехніки являє собою підсилювач потужності електричного (у вигляді послідовності керуючих імпульсів, що надходять на двигун, що здійснює відповідний переривчасте імпульсний рух) керуючого впливу на потужність потоку робочої рідини зі зміною його напрямку відповідно до керуючого впливу. Як двигун тут використовуються переважно крокові електродвигуни.

2. ДРОСЕЛЮЮЧІ ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКИ

Дроселюючий гідророзподільник являє собою регулюючий гідроапарат, призначений для управління витратою і напрямком потоку робочої рідини в декількох гідролініях одночасно відповідно до зміни зовнішнього керуючого впливу.

Існують різноманітні схеми виконання таких гідророзподільників (рис. 2.21).

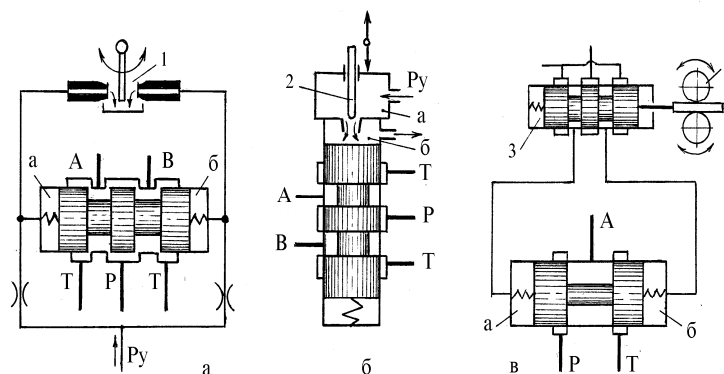


Рисунок 2.21. Схеми дроселюючих розподільників з парою сопло-заслінка (а), парою голка-діафрагма (б) та моментними двигунами (в)

Вони відрізняються один від одного числом каскадів управління, типом електромеханічного перетворювача, проміжного підсилювача та зворотного зв'язку між каскадами.

Число каскадів посилення вказує на кількість послідовно включених підсилювачів. Зазвичай кількість каскадів становить 1...4. До каскадів входить електричний перетворювач з проміжним підсилювачем і один або кілька гідророзподільників золотникового типу.

Найбільш поширеними типами перетворювачів є:

- електродинамічний - рухома котушка, поміщена в магнітне поле;

- моментний двигун 4 (рис. 2.21, в) - електрична машина з поворотним блоком, в якому кут повороту (або момент, що розвивається) пропорційний вхідному електричному сигналу;
- пропорційний магніт - електромагніт, в якому переміщення осереддя (або зусилля, що розвивається ним) пропорційно вхідному електричному сигналу.

Серед проміжних підсилювачів поширення набули такі типи:

- сопло - заслінка 1 (рис. 2.21, а) – підсилювач, що створює перепад тисків в результаті зміни зазору між торцевою поверхнею сопла з малим отвором, з якого витікає керуючий потік рідини, і заслінкою, пов'язаною з електромеханічним перетворювачем (у здвоєному підсилювачі, як показано на рис. 2.21, а заслінка розташована між двома соплами);
- струминна трубка - підсилювач, що створює перепад тисків за рахунок зміни положення струминної трубки з керуючим потоком робочої рідини щодо двох прийомних сопел, розташованих поблизу від осі потоку (на малюнку не показано);
- золотниковий - підсилювач, що створює перепад тисків у результаті усунення керуючого золотника 3 (рис. 2.21, в), пов'язаного з механічним перетворювачем.

Різновидом проміжного підсилювача сопло - заслінка є підсилювач з парою голка - діафрагма 2 (рис. 2.21, б). Тут голка переміщається по вертикалі залежно від сигналу, що надходить на електромагнітну котушку, і змінює величину отвору діафрагми, через яке проходить керуючий потік рідини і впливає на качалку золотника. В результаті в торцевій камері змінюється величина тиску, що викликає відповідне зміщення качалки золотника за рахунок різниці зусиль з боку пружини і тиску рідини.

Технічні характеристики дроселюючих гідророзподільників різного виконання наведені в таблиці II. 2.8.

Розподільники поділяються і за типом зворотного зв'язку між каскадами, який може бути:

- електричний з контролем переміщення запірно-регулюючого елемента за допомогою електричного датчика зворотного зв'язку (у цьому випадку качалка золотника з'єднана з датчиком переміщення, який подає в електросхему керування електричний сигнал, пропорційний величині переміщення);
- механічний жорсткий, коли одна із складових частин проміжного підсилювача (сопло, приймальні сопла струминної трубки або скалка керуючого золотника) безпосередньо або через механічну передачу пов'язана з основним запірно-регулюючим елементом (ка-

- чалкою золотника), або гнучка, при якому зв'язок цього елемента з заслінкою або струминною трубкою реалізований пружиною;
- гідравлічний, при якому зв'язок між проміжним підсилювачем та основним запірно-регулюючим елементом реалізований гідравлічними засобами.

Поряд з вищеописаними типами гідророзподільників, широко використовуються розподільники з механічним управлінням. У цих розподільниках вплив на качалку золотника надають механічним шляхом за допомогою рукоятки, кулачка, копіра і тому подібне. Від звичайних розподільників відрізняються значно вищою точністю виготовлення та жорстко обмеженими допусками головних елементів: качалки та гільзи. Застосовуються в гідрокопіювальних верстатах, гідророзподільниках підвищеної точності, у слідкуючих приводах і т. д.

Розглянемо коротко принцип дії на *рис. 221* розподільників.

Усі розподільники мають окремий канал для підведення керуючого потоку рідини з тиском p_y .

У схемі (*рис. 2.21, а*) керуючий потік рідини надходить у сопла. При нейтральному положенні заслінки через сопла зливається однакова кількість рідини і в торцевих камерах **а**, **б** золотника підтримується однаковий тиск, що утримує качалку золотника за допомогою цих тисків і пружин в середньому (вихідному) положенні. У цьому випадку робочий гідроциліндр (гідромотор) перебуває в нерухомому стані.

При подачі керуючого електричного сигналу на котушку заслінки вона повернеться в ту чи іншу сторону (залежно від знаку сингала), що створює різні відстані між заслінкою і соплами. Наприклад, якщо між лівим соплом і заслінкою відстань збільшилася, а між правим соплом і заслінкою зменшилася, то в торцевій камері **а** тиск зменшиться, а в камері **б** збільшиться. В результаті різниці тисків качалка переміститься вліво (відповідно величині керуючого сигналу) і робоча рідина під тиском надходитиме в лінію **В**, а лінія **А** з'єднається з лінією зливу **Т**. При цьому робочий орган буде переміщатися зі швидкістю, величина якої залежатиме від величини зміщення скалки.

У схемі (*рис. 2.21, б*) закладено той же принцип. Керуюча рідина підводиться в камеру **а**. Якщо голка, що управляє, закріплена на електромагнітній котушці, займає крайнє верхнє положення, то в камері **б** створюється найбільший тиск керуючої рідини. У цьому випадку качалка під впливом цього тиску, долаючи опір пружини, займає крайнє нижнє положення. І, навпаки, якщо голка знаходиться в нижньому положенні, то отвір діа-фрагми майже повністю перекривається і керуючий потік рідини практично не надходить у камеру **б**. Внаслідок цьо-

го тиск в камері **б** падає і качалка золотника під дією пружини займає крайнє верхнє положення. Природно, що при проміжних електричних сигналах управління голка буде також займати певні проміжні положення, визначаючи відповідне положення качалки золотника.

У схемі (рис. 2.21, в) качалка основного золотника також переміщується за рахунок перепаду тисків в камерах **а**, **б**, який створюється за допомогою керуючого золотника 3. У свою чергу качалка керуючого золотника переміщується за допомогою моментних двигунів 4 через рейкову передачу. Як і в перших двох схемах, тут величини переміщення качалки основного золотника і, отже, витрати, що визначає швидкість переміщення робочого органу, залежать від величини електричного сигналу, що надходить на моментні двигуни.

3. ГІДРОАПАРАТИ ПРОПОРЦІОНАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Гідроапарат пропорційного управління являє собою електрогідравлічний підсилювач потужності, який на відміну від дрослюючого, що може мати керуючий вплив від різних джерел енергії, отримує керуючий вплив тільки від пропорційного електромагніту з лінійною характеристикою.

У такому електромагніті сила, яка розвивається якорем, залежить від величини струму в обмотці. Форма магнітопроводу така, що зусилля залишається практично незмінним на всьому ході якоря при тому самому значенні струму в обмотці.

У гідроапаратурі пропорційного управління використовуються два типи електромагнітів: електромагніт типу ПЕМ 6-1 без датчика зворотного зв'язку та електромагніт типу ПЕМ 6-2 з електричним датчиком зворотного зв'язку за розташуванням якоря. Перший тип застосовується в запобіжних і редуційних клапанах, регуляторах витрат, дроселях (вбудованих), другий - в гідророзподільниках і регуляторах потоку з електричним управлінням.

Як і дроселюючі апарати, ці апарати також мають один або кілька каскадів посилення, електричний, гідравлічний та механічний зворотні зв'язки.

На рис. 2.22, а показана принципова схема гідророзподільника, до складу якого входять основний 1 і керуючий 2 золотники, пропорційний електромагніт 3, з одного боку пов'язаний зі скалкою золотника 2, а з іншого - з датчиком зворотного зв'язку 4, електронний підсилювач 5.

Керуючий електричний сигнал подається на магніт 3, який відповідно величині цього сигналу переміщує скалку керуючого золотника 2. В результаті в камерах **а**, **б**, відносно золотника 1 виникає перепад

тисків, за рахунок чого скалка основного золотника переміщається в ту чи іншу сторону (відповідно величині сигналу), змінюючи величину витрати та напрями робочого потоку рідини. Наявність двох датчиків зворотного зв'язку, які відповідно з'єднані зі скалками золотників і введені в електричний ланцюг підсилювача 5, дає можливість досягти дуже високої точності відпрацювання сигналу управління, що подається.

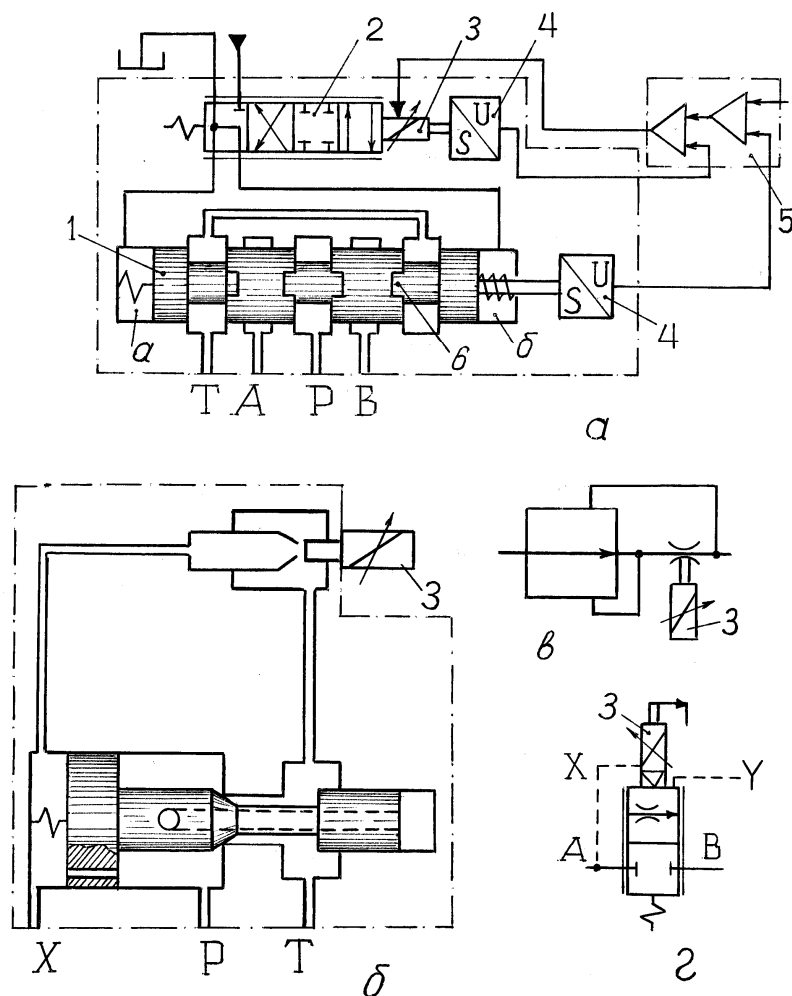


Рисунок 2.22. Схеми апаратів пропорційного керування: гідророзподільник (а); запобіжний клапан (б); регулятор витрати (в); дросель (вбудований) (г)

Регулятори витрати, запобіжні та редукційні клапани, дроселі (рис. 2.22) та інша гідроапаратура пропорційного управління відрізняються від звичайної (розглянутої раніше) тільки наявністю пропорційного електромагніту, що дозволяє здійснювати дистанційне регулювання їх параметрів.

Технічні характеристики окремих видів гідроапаратури пропорційного управління наведено у таблиці П. 2.9.

4. ГІДРОПІДСИЛЮВАЧІ

Гідропідсилювач являє собою гідравлічний пристрій, що забезпечує посилення вхідного механічного впливу (лінійного або обертального) за рахунок підведення робочої рідини під тиском.

Гідропідсилювачі широко використовуються в різних галузях техніки і особливо в гідравлічних приводах систем управління рухом транспортних машин, верстатів, пресів та інших. Ступінь посилення вихідної потужності гідропідсилювача по відношенню до потужності вхідного сигналу (коефіцієнт посилення потужності) практично є необмеженою. Так, наприклад, у кермових пристроях великих морських суден забезпечується посилення 300 000: 1, а в електрогідравлічних системах автоматики воно досягає 10 000 000: 1.

Гідропідсилювачі можуть бути умовно розділені на дві групи: пристрої для посилення вхідних сигналів при ручному або автоматичному керуванні машинами (рис. 2.23 а, б, в); пристрої для виконання технологічних операцій за певною програмою (рис. 2.23 а, б). Останні отримали назву "слідкуючі гідроприводи".

Гідропідсилювачі першої групи можуть бути без зворотного зв'язку, так і зі зворотним зв'язком. Гідропідсилювачі другої групи мають зворотний зв'язок. Він може бути механічним та електричним. Більш надійним є механічний зв'язок, але він поступається точністю.

Принцип дії слідкуючої системи полягає в тому, що вихідний сигнал безперервно порівнюється з вхідним і якщо між ними виникає різниця, то вона під дією самої ж системи автоматично зводиться до нуля.

На рис. 2.23 а показана схема гідропідсилювача з гідродвигуном поступального руху 5 і гвинтовою парою 2. При обертанні штурвала 1 і гвинта 2 золотник 3 зміщується, наприклад, вліво і рі-

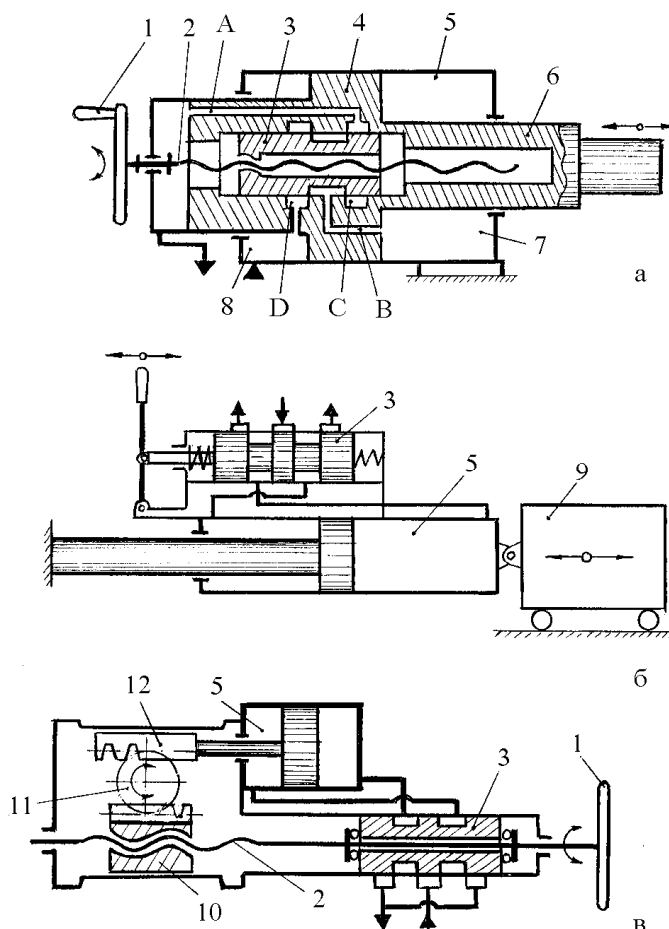


Рис. 2.23. Схеми гідравлічних усилителей

діна під тиском з порожнини 8 надходить через кільцеву щілину **D** і канал **B** в порожнину 7. За рахунок різниці між площами порожнин 7 та 8 поршень 4 з робочим органом 6 переміщається також вліво. Якщо ж за допомогою штурвала золотник зміститься щодо початкового положення вправо, то рідина під тиском буде надходити в порожнину 8, а з порожнини 7 вона через канал **B**, кільцеву щілину **C** і канал **A** піде на злив. У цьому випадку поршень 4 з робочим органом 6 буде рухатися вправо. Причому, в обох випадках поршень рухатиметься тільки при обертанні штурвала. При зупинці штурвала поршень 4 під дією рідини самостійно займе нейтральне положення щодо золотника, всі канали і щілини перекриються, і поршень зупиниться.

На *рис. 2.23 б* показана схема гідропідсилювача прямолінійного руху, який може використовуватися при переміщеннях робочого органу 9 на значні відстані. Управління гідроциліндром 5 тут здійснюється шляхом лінійного переміщення важеля, який має безпосередній зв'язок зі скалкою слідкуючого золотника 3. При переміщенні важеля в ту чи іншу сторону відкриваються відповідні кільцеві щілини золотника, і рідина надходить в ту чи іншу порожнину гідроциліндра. З протилежної порожнини рідина йде на злив.

На *рис. 2.23, в* показана схема гідропідсилювача, в якому вхідні і вихідні ланки мають обертальні рухи. При обертанні штурвала 1 і нерухомій на даний момент часу гайці 10 гвинт 2 отримує не тільки обертальний, а й поступальний рух (у межах десятих часток міліметра). Завдяки цьому золотник 3 переміщається поступально з нейтрального положення і відкриває кільцеві щілини, які з'єднують порожнини гідроциліндра 5 з нагнітальною і зливною магістралями. Поршень гідроциліндра переміщається в ту чи іншу сторону разом з рейкою 12, яка обертає зубчасту шестерню 11 у відповідному напрямку, а та в свою чергу перекочується по рейці 10, що викликає не тільки обертання робочого органу, а і знижує навантаження на штурвал 1. Такі схеми використовуються як гідропідсилювачів кермових систем різних машин.

Технічні характеристики окремих стандартних гідропідсилювачів наведені в *таблиці П. 2.10*.

5. ПРИСТРОЇ ЦИФРОВОЇ СЕРВОТЕХНІКИ

Перехід від аналогової до цифрової форми перетворення інформації з використанням малопотужних крокових електродвигунів (ШД) в якості сполучної ланки між мікропроцесорними системами управління і гідравлічними силовими виконавчими органами дозволяє істотно підвищити надійність системи управління за рахунок кращої пе-

решкодозахищеності, відсутності дрейфів сигналів управління (на відміну від електронних підсилювачів).

У традиційних крокових приводах з механічним зворотним зв'язком (ЕЗ2Г18-2, Г28-2) кроковий двигун у процесі руху робочого органу постійно обертається. У нових широкодіапазонних цифрових електродравлічних приводах (ШЕГП) з електричним зворотним зв'язком кроковий двигун повертається на певний кут, пропорційний швидкості руху. У першому випадку максимальна швидкість руху визначається лінійною дискретною і максимальною частотою слідкування імпульсів (при дискреті 0.01 мм і частоті 16 кГц досягається швидкість 9.6 м/хв; дискрета кутове в градусах або лінійне в мм переміщення вихідної ланки приводу при повороті крокового двигуна на один крок). У другому випадку максимальна швидкість обмежена лише допустимою частотою зчитування інформації вимірювальною системою (при дискреті 0.01 мм швидкість може досягати 60 м/хв, що вказує на перевагу цих приводів з точки зору їх швидкодії).

Промисловістю випускаються лінійні та роторні приводи з механічним та електричним зворотним зв'язком, цифрові регулятори витрати та запобіжні клапани.

На *рис. 2.24* показано три схеми гідроприводів: лінійний гідропривод з механічним зворотним зв'язком (**а**); роторний гідропривід з механічним зворотним зв'язком (**б**); лінійний гідропривід з електричним зворотним зв'язком (**в**). Останній забезпечений імпульсним датчиком зворотного зв'язку 10 (ДОС) і пристроєм числового програмного управління 11 (УЧПУ).

Рух у всіх випадках задається кроковим двигуном 1 через гвинтовий пристрій 2 золотника 3. Наявність у схемах **а**, **б** спеціального пристрою 4 дає можливість качалці золотника поєднувати поступальний і обертальний рух.

Як зворотний зв'язок у схемі **а** служить передача 5 (зубчаста, ремінна, ланцюгова і т. п.) і гвинтова пара 6, вбудована в порожнистому штоку 7 гідроциліндра 8, у схемі **б** - безпосередньо скалка золотника 3 і пристрій 4, які дають можливість скалці мати тільки осьове зміщення щодо осі валу гідромотора 9.

Принцип роботи всіх гідроприводів є аналогічним. У всіх випадках при повороті крокового двигуна гвинтовий пристрій 2 повідомляє скалці керуючого золотника 3 поступальний рух, в результаті чого одна порожнина гідроциліндра або гідромотора з'єднується з лінією нагнітання, а друга - з лінією зливу і двигун отримує відповідний напрямок руху.

У першій схемі при переміщенні штока циліндра обертальний рух передається гвинту гвинтової пари 6, і через передачу 5 і пристрій 4

приводить у обертальний рух качалку золотника. При однаковій швидкості обертання качалки і крокового двигуна будуть зберігатися постійні прохідні щілини золотника. Якщо з якоїсь причини гідроциліндр прискорив рух, то качалка, також прискорено обертаючись, отримає коригуючий поступальний рух за рахунок вкручування або викручування гвинта 2' з гайки 2" пристрою 2.

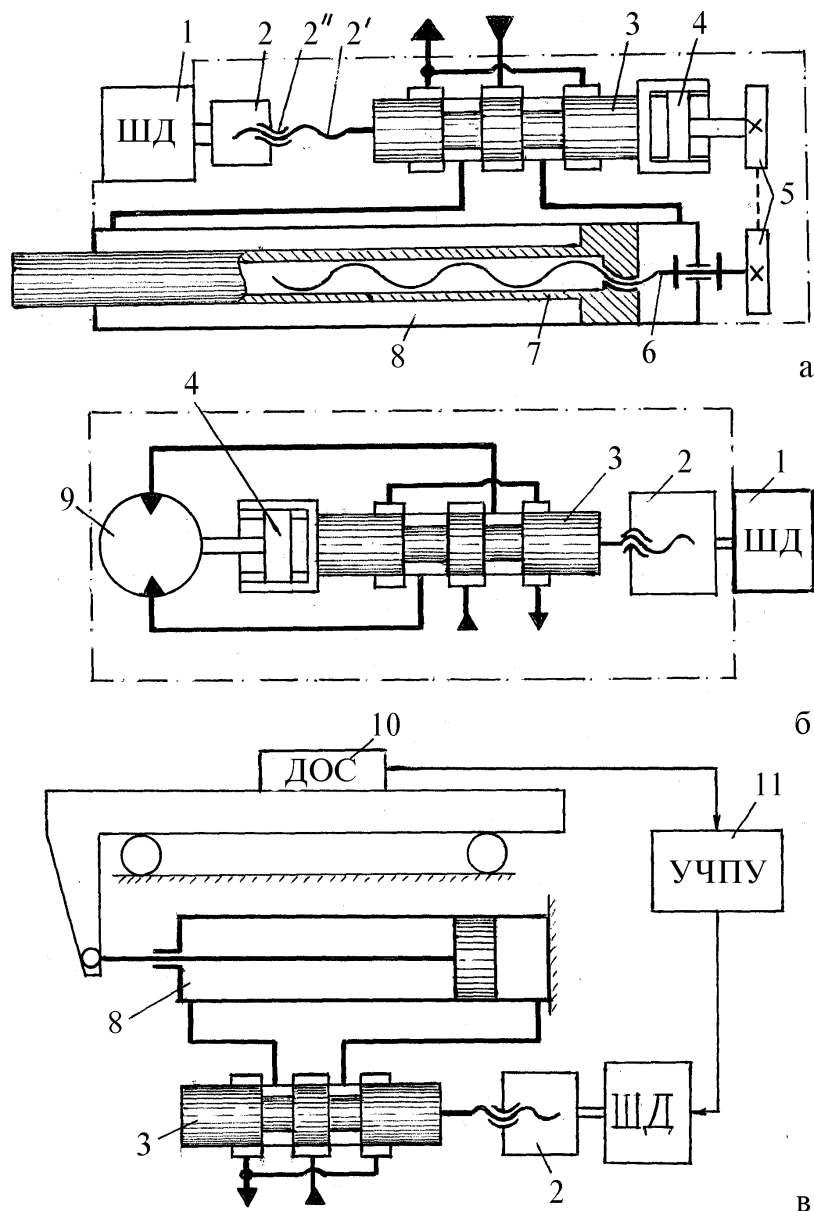


Рисунок 2.24. Схеми пристроїв цифрової сервотехніки з керуванням від крокового двигуна

У схемі б, що має електричний зворотний зв'язок, коригування положення качалки проводиться автоматично шляхом зміни швидкісних параметрів крокового двигуна. Це відбувається в тому випадку, якщо електричний сигнал, що надходить від ДОС, буде відрізнитися за величиною і знаком від електричного сигналу, що задається. Їхня

різниця говорить про те, що робочий орган переміщається з відхиленням від заданої програми. УЧПУ зчитує інформацію, порівнює сигнали та дає коригуючі сигнали на ШД.

Технічні характеристики окремих типів гідроприводів цифрової сервотехніки наведено у *таблиці П. 2.11*.

6. ГІДРАВЛІЧНІ СЛІДКУЮЧІ ПРИВОДИ

Гідравлічний слідкуючий привід є різновидом гідропідсилювачів і широко використовується в гідрокопіювальних металообробних верстатах, ковальсько-пресовому обладнанні, системах автоматичного регулювання ряду електрометалургійних плавильних агрегатів, системах управління і наведення літакової і ракетної техніки.

Слідкуючі гідроприводи від звичайних відрізняються наявністю зворотного зв'язку між обладнанням, що задає, і робочим органом. За типом зворотного зв'язку розрізняють гідроприводи з механічним та електричним зв'язком. Принципова схема найпростішого слідкуючого приводу з жорстким зворотним зв'язком показана на *рис. 2.25 а*.

Показано привод фрезерного верстата при обробці деталей фасонного профілю 9 з використанням копіра 1. При русі останнього в напрямку, позначеному стрілкою, піднімається вгору щуп 2 і, у свою чергу, переміщає вгору скалку 4 слідкуючого золотника 3, корпус якого за допомогою кронштейна 10 (зворотний зв'язок) з'єднаний з робочим органом 7 та рухомим штоком гідроциліндра 6.

Внаслідок зміщення качалки відносно нерухомого в першу мить корпусу золотника, в золотнику утворюються кільцеві щілини h (між кромками скалки і кільцевими розточками гільзи корпусу золотника), через які починає перетікати робоча рідина. При зазначеному на схемі положенні скалки рідина під тиском надходить у підпоршневу порожнину циліндра 6. Завдяки цьому робочий орган 7 разом з фрезою піднімається вгору, відображаючи рух щупа. З протилежної порожнини рідина через золотник зливається в бак. Пружина 5 постійно підтискає щуп до копіру.

На *рис. 2.25 б* показана схема слідкуючого гідроприводу з гнучким пружним зв'язком 11 (сталевий канат, ланцюг і т. п.), що дозволяє повідомляти робочому органу значно більші переміщення (кілька метрів).

На кафедрі механічного обладнання металургійних заводів (МОМЗ) Запорізької державної інженерної академії (ЗДІА) розроблено (у числі провідних розробників проф. Жук А.Я.) на рівні винаходів кілька десятків різних конструкцій гідравлічних слідкуючих механізмів електродугових, вакуумнодугових, електрошлакових, електронно-

променевих, плазмових печей та інших об'єктів промисловості. Багато з них успішно використовуються на виробництві.

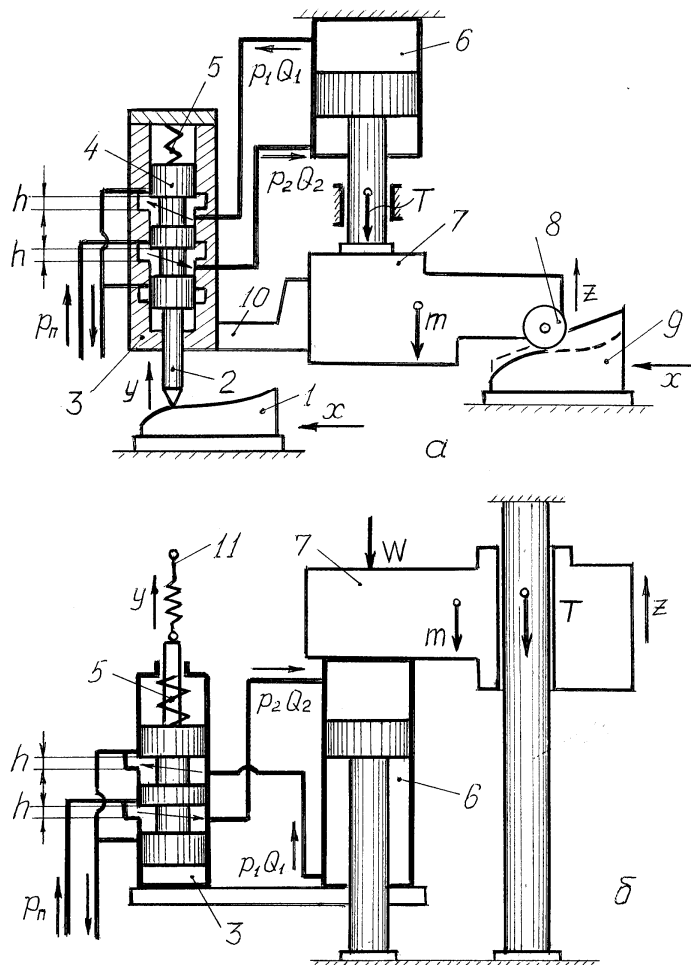


Рисунок 2.25. Схеми гідравлічних стежать приводів

До основних показників роботи слідкуючого гідроприводу, крім тих, які властиві звичайному гідроприводу, відносяться точність відтворення заданої програми і стійкість до автоколивань (в замкнених слідкуючих системах можливий стан, коли гідропривід може довільно здійснювати незагасаючі коливання);

Точність характеризується статичними характеристиками, які виражають функціональну залежність між похибкою виконання заданої програми, швидкістю переміщення робочого органу та впливаючим на нього статичним навантаженням. Характерною величиною, яка визначає межу стійкості гідроприводу, є підведений граничний тиск $p_{гр}$. При підведеному до золотника тиск p_n меншому за граничний гідропривід буде стійким до автоколивань. Методика розрахунку гідравлічних слідкуючих приводів описана у розділі 13.