

РОЗДІЛ 11. СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, СТАБІЛІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ РУХУ

1. СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ШВИДКОСТЮ

Розрізняють три основні способи керування гідроприводом: дросельний; машинний; машинно-дросельний.

Дросельний спосіб регулювання з нерегульованим насосом заснований на дроселюванні потоку рідини за допомогою дроселів, що регулюються (рис. 2.30, а, б, в) або дроселюючим гідропідсилювачем (рис. 2.30, г).

При дросельному регулюванні швидкості дросель встановлюється паралельно (а), на вході гідродвигуна (б) і на виході гідродвигуна (в).

При паралельному розташуванні дроселя робоча рідина, що подається насосом, поділяється на два потоки. Один потік проходить через гідродвигун, інший - через регульований дросель. В цьому випадку швидкість штока гідроциліндра може бути визначена за формулою:

$$v = \frac{1}{S} \left(Q_n - \mu \cdot S_{др} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot S}} \right), \quad (2.30)$$

де **S** - ефективна площа поршня;
Q_n - подача насоса;
S_{др} - площа прохідного перерізу дроселя;
ρ - щільність робочої рідини;
μ - коефіцієнт витрати.

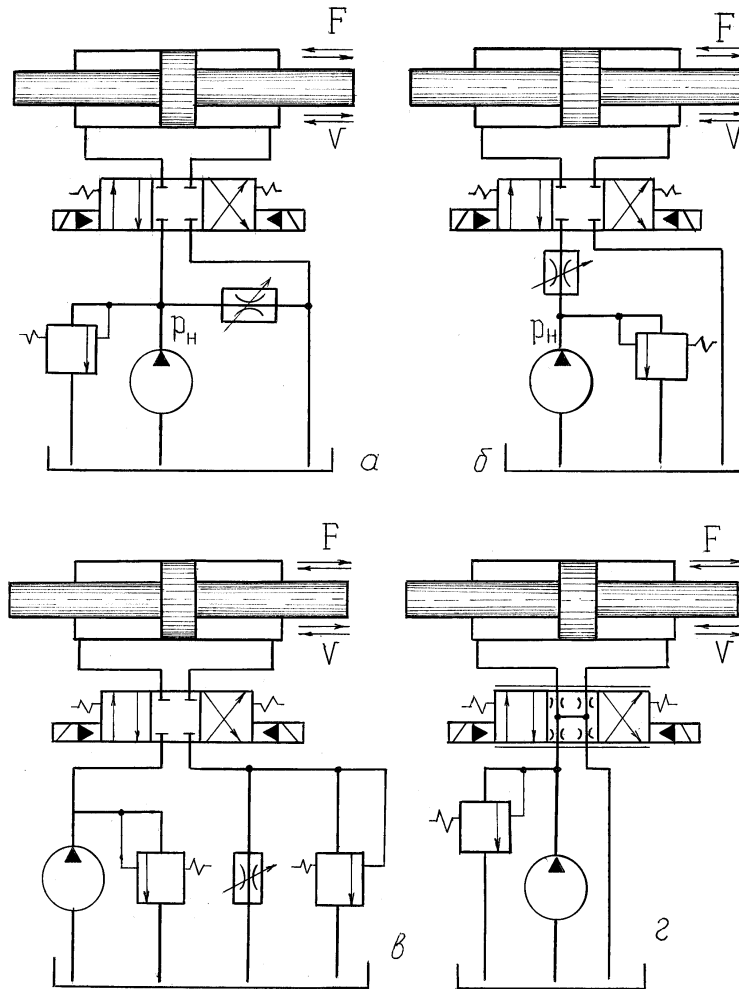


Рисунок 2.30. Схеми систем дросельного керування

Така система дозволяє регулювати швидкість тільки в тому випадку, якщо напрямок дії навантаження протилежний напрямку руху гідроциліндра.

Гідропривід з дроселем на вході допускає регулювання швидкості також при протилежних напрямках руху робочого органу та дії навантаження.

Швидкість руху поршня для цього випадку може бути визначена за формулою:

$$v = \mu \frac{S_{др}}{S} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(p_H - \frac{F}{S} \right)}, \quad (2.31)$$

де p_H - тиск у лінії нагнітання.

Гідропривід з дроселем на виході допускає регулювання швидкості при знакозмінному навантаженні і забезпечує більш стабільну роботу машини (механізму). Швидкість руху в цьому гідроприводі визначається за аналогічною формулою:

$$v = \mu \frac{S_{dp}}{S} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(p_H \pm \left| \frac{F}{S} \right| \right)}. \quad (2.32)$$

Тут знак під коренем залежить від напрямку дії навантаження по відношенню до напрямку руху.

При встановленні дроселя на виході у разі великих зустрічних навантажень, що діють на шток гідроциліндра, тиск перед дроселем може перевищити допустимий рівень, у зв'язку з чим для запобігання системи від поломок встановлюють запобіжний клапан паралельно дроселю.

Системи з дроселючими гідророзподільниками, як правило, використовують при пропорційному регулюванні різних силових та технологічних параметрів машин та агрегатів. Такі системи отримали найменування систем автоматичного регулювання (САР).

При машинному управлінні регулювання швидкості проводиться шляхом зміни робочого об'єму або насоса, або гідродвигуна, або за рахунок зміни робочого об'єму обох гідромашин.

На *рис. 2.31*, а показана принципова схема гідроприводу із замкненою циркуляцією, в якому регулювання швидкості руху поршня гідроциліндра 1 здійснюється за рахунок зміни подачі насоса 4. Насос 3 призначений для компенсації витоків (без яких не може обійтися жодна реальна гідросистема). Гідросистема також включає запобіжні 2 і 5 зворотні клапани.

При переміщенні поршня циліндра, наприклад, вправо рідина надходить у циліндр каналом А, а каналом В повертається до насоса. При цьому перетікання рідини з каналу в канал виключається завдяки нижній парі зворотних клапанів, встановлених напрямом своїх каналів у протилежні сторони. Верхні зворотні клапани забезпечують правильне підведення робочої рідини до запобіжних клапанів. Реверсування проводиться насосом.

Вираз швидкості руху штока при нормальному режимі роботи, коли дотримується умова $\frac{F}{S} < p_k$, можна записати у вигляді:

$$v = \frac{K_H \cdot V_H \cdot n_H}{S} - \eta_c \cdot \frac{F}{S^2}, \quad (2.33)$$

де K_H - параметр регулювання насоса, що дорівнює відношенню поточного значення робочого об'єму насоса до максимального робочого об'єму;

V_H - максимальний робочий об'єм насоса;

- n_n - частота обертання насоса;
- S - ефективна площа поршня гідроциліндра;
- η_c - коефіцієнт об'ємних втрат системи, що визначається зміною об'ємного ККД насоса та циліндра у функції тиску;
- F - навантаження на штоку;
- p_k - тиск, на який відрегульовано запобіжні клапани.

Перевагою такої системи є те, що величина швидкості переміщення поршня циліндра незначно змінюється при зміні навантаження на робочому органі. Діапазон регулювання швидкості визначається об'ємним ККД гідроприводу та максимальною подачею насоса.

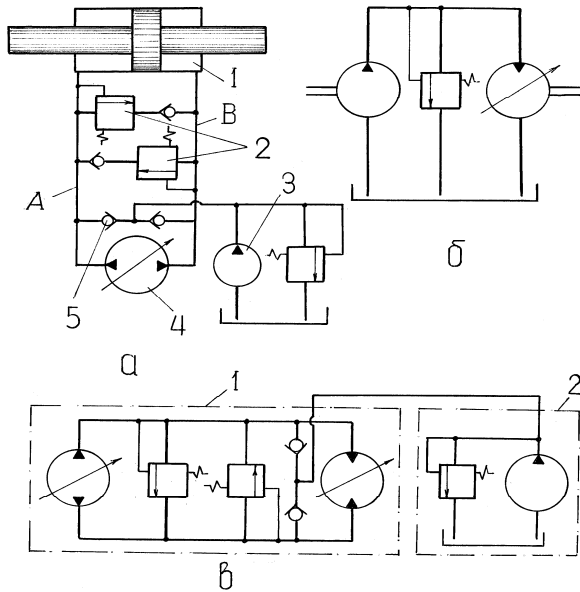


Рисунок 2.31. Схеми гідроприводів із машинним керуванням

На рис. 2.31 б показана система регулювання шляхом зміни робочого об'єму гідродвигуна, яка застосовується тільки в гідроприводах обертальної дії. І тут регулювання відбувається при постійній потужності, т. я. зменшення робочого об'єму гідродвигуна збільшує швидкість вихідної ланки гідроприводу і відповідно зменшує крутний момент, що розвивається на вихідній ланці.

Частота обертання гідромотора n_m при $p_1 < p_k$ визначається співвідношенням:

$$n_m = \frac{V_n \cdot n_n - \eta_c \cdot p_1}{K_m \cdot V_{mmax}}, \quad (2.34)$$

- де K_m - параметр регулювання двигуна;
- p_1 - тиск у напірній магістралі;
- η_c - коефіцієнт об'ємних втрат;
- V_{mmax} - максимальний робочий об'єм двигуна.

На рис. 2.31, в показана схема гідроприводу з регульованим насосом і гідромотором. Гідропривод включає власне об'ємний гідропривод 1 і блок компенсації витоків 2, що складається з насоса та запобіжного клапана. Система працює в замкнутому циклі з циркуляці-

єю робочої рідини і дозволяє, як і попередня система (б), отримати великий діапазон регулювання швидкості.

Виконання за схемою (в) у вигляді блоку 1 (без блоку 2) отримало загальне найменування об'ємної гідропередачі і характеризується як гідропередача, що складається з двох об'ємних гідромашин (насоса та гідромотора) з сполучними гідролініями та гідроапаратурою, причому одна або обидві гідромашини виконуються регульованими. Випускаються промисловістю у різних виконаннях.

За конструктивним оформленням є виконання: нероз'ємна, що складається з гідропристроїв, конструктивно оформлених в одне ціле; роздільна, що складається з роздільних гідропристроїв.

За типом механізму управління розрізняють гідропередачі:

- з ручним управлінням, коли зміна робочого об'єму гідромашини проводиться шляхом впливу м'язової сили людини;
- з гідравлічним, коли зміна робочого об'єму проводиться керуючим гідродвигуном, що входить до складу гідромашини;
- з електромагнітним, коли зміна робочого об'єму (ступінчаста) проводиться шляхом перемикання електромагнітів, що входять до складу гідромашини;
- з пропорційним електричним, коли зміна робочого об'єму (безступінчаста) проводиться шляхом зміни електричного керуючого сигналу, що надходить в електромеханічний перетворювач (наприклад, пропорційний електромагніт або кроковий електродвигун), що входить до складу гідромашини.

Промисловістю випускаються об'ємні гідропередачі на базі регульованого аксіально-поршневого насоса, технічні характеристики яких наведені в таблиці П. 2.13.

Промисловістю також раніше випускалися (відомостей про зняття з виробництва немає) гідроприводи типу 11 Д-Н шести типорозмірів з діапазоном регулювання швидкості 1:1000 і такими параметрами:

	1(0.5)	2(1.5)	3(2.5)	4(5)	5(10)	6(20)
n_{\max}, об/хв	2950	2950	2950	1440	1440	1440
$M_{\text{ном}}$, Нм	3.3	10	17.5	95	190	340
$t_{\text{разгона}}$, с	0.1	0.12	0.15	0.2	0.3	0.35

Машинно-дросельний спосіб управління полягає в тому, що в систему дросельного регулювання з постійним тиском встановлюється регульований насос і тиск підтримується постійним не за рахунок зливу частини робочої рідини через переливний клапан, а за рахунок зміни подачі насоса.

На *рис. 2.32* показана схема гідроприводу поступальної дії. Тут постійний тиск підтримується шляхом сумісної роботи регулятора 1 і аксіально-поршневого регульованого насоса 2.

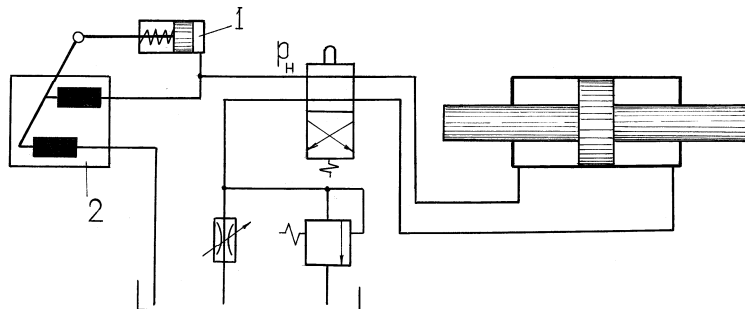


Рисунок 2.32. Схема гідроприводу з машинно-дросельним керуванням

Зміна тиску p_n призводить до зміни положення поршня регулятора 1 і пов'язаного з ним диска похилого насоса 2, а зміна положення диска - до зміни подачі насоса. Тому тут подача насоса завжди дорівнює витраті через гідродвигун і дросель при $p_n = \text{const}$.

Порівняння характеристик систем управління показало на те, що гідроприводи з машинним управлінням мають найстабільнішу характеристику швидкості у всьому діапазоні зміни навантажень і найвищий ККД системи регулювання. Проте їхня вартість вища у порівнянні з іншими системами. Тому їх використання доцільно у гідроприводах великої потужності ($N > 10\text{кВт}$).

У приводах невеликої потужності найбільш доцільно використання систем дросельного управління.

2. СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Використовуються в основному два типи систем стабілізації: дросельна та машинна.

Принцип дії всіх систем стабілізації швидкості в гідроприводах з дросельним регулюванням полягає в забезпеченні постійного перепаду на дроселі при зміні навантаження на вихідній ланці приводу.

На *рис. 2.33, а* наведена схема гідроприводу поступальної дії з регулятором потоку на виході гідроциліндра. Як регулятор тут використовується дволінійний дросель стандартного виконання, що включає власне регульований дросель і редуційний клапан, який при зміні навантаження на штоку циліндра F , а, отже, і тиску в порожнині циліндра p_1 підтримує постійний тиск перед дроселем p_d . У цьому випадку, природно, забезпечується постійне значення потоку робочої

рідини, що проходить через дросель, та постійна швидкість переміщення штока v .

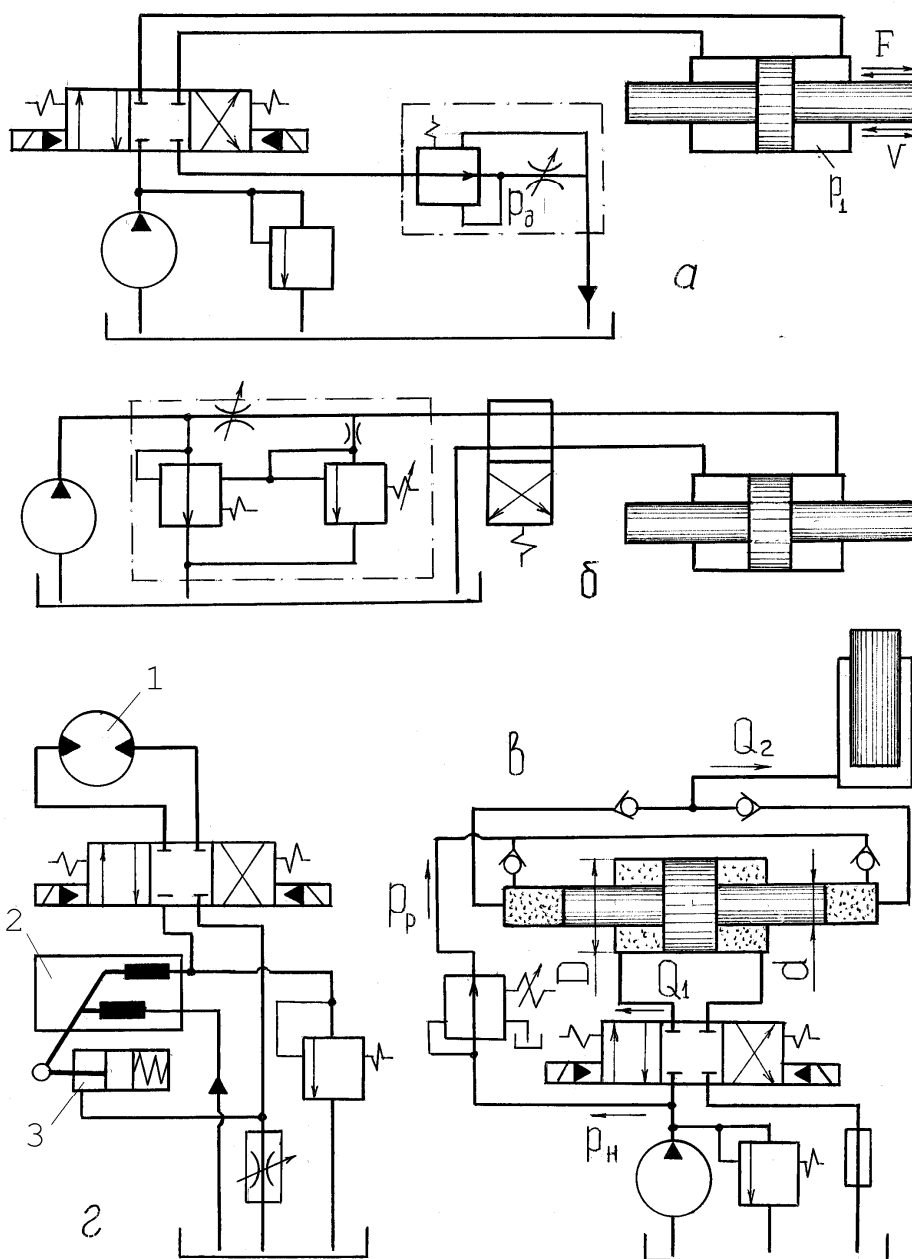


Рисунок 2.33. Схеми систем стабілізації швидкості

На *рис. 2.33, б* показана схема системи стабілізації з регулятором на вході, в якості якого використаний серійно виготовлений трилінійний дросель, що складається з власне регулюючого дроселя, запобіжного і редуційного клапанів.

Друга система є не менш ефективною, ніж перша, однак у тому та іншому випадку якість стабілізації різко погіршується при малих витратах рідини ($50 \text{ см}^3/\text{хв}$ і менше). Це обумовлено тим, що самі

дроселі розраховані на мінімальні витрати не менше $60 \text{ см}^3/\text{хв}$. Лише окремі типи дроселів виконуються на мінімальну витрату $30 \text{ см}^3/\text{хв}$. У той же час і вони практично не забезпечують стабільність руху робочого органу при витратах менше $70 \text{ см}^3/\text{хв}$, що доведено авторами шляхом експериментальних досліджень. Нестійкість роботи пояснюється тим, що при малих перерізах пропускних каналів помітно впливає облітерація (зарощування каналів сторонніми твердими частинками). При деяких малих розмірах пропускних щілин після закінчення часу взагалі перестане проходити рідина.

Облітерація є складним фізико-хімічним процесом, обумовленим адсорбцією поляризованих молекул рідини на твердих поверхнях каналів, а також відкладенням на них смол та інших активних компонентів рідини. На процес облітерування каналів (щілин) і перебіг рідини через них впливає також забрудненість рідини твердими і в'язкими включеннями, які, з одного боку, відфільтровуючись в щілині, механічно закупорюють її, а з іншого - сприяють утворенню на поверхні щілин багат шарової адсорбції поляріоактивних молекул рідини.

У зв'язку з цим при малих витратах рідини в магістралі робочого органу доцільно використання системи з перетворювачем витрати (рис. 2.33, в), в якій дросель встановлюється на вхідній ланці перетворювача, що має циліндр більшого розміру. Це забезпечує роботу дроселя при значно більшій витраті рідини, ніж той, який забезпечує вихідає ланка перетворювача (тобто $Q_1 = Q_2 \left(\frac{D^2}{d^2} \right)$).

У той самий час ця система чутлива до зміни зусилля на робочому органі. Тому одним з кращих варіантів при малих витратах є використання дроселюючих гідропідсилювачів з пропорційним регулюванням зі зворотним зв'язком по переміщенню (див. слідкуючий гідропривід).

Машинні системи стабілізації використовуються в гідроприводах обертальної дії і в тих випадках, де потрібна висока точність підтримки заданої швидкості.

На рис. 2.33, г показана принципова схема гідроприводу обертальної дії з розімкнутою циркуляцією, в якій регулювання швидкості здійснюється шляхом зміни робочого об'єму аксіально-поршневого насоса 2. Тут задане значення кутової швидкості гідромотора 1 встановлюється положенням допоміжного циліндра 3, шток диск насоса.

У разі зміни моменту на валу гідромотора, що власне і викликає зміну швидкості, тиск в циліндрі 3 змінюється і змінює положення ди-

ска насоса і, отже, подачу робочої рідини, що подається насосом в гідромотор.

3. СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ РУХУ

Деякі машини оснащені кількома однотипними гідроприводами, які повинні працювати синхронно. При цьому для синхронізації їх дії зазвичай потрібно забезпечити рівність швидкостей.

Для цього застосовують різні пристрої, так звані дільники потоку, які побудовані на об'ємному або дросельному принципі.

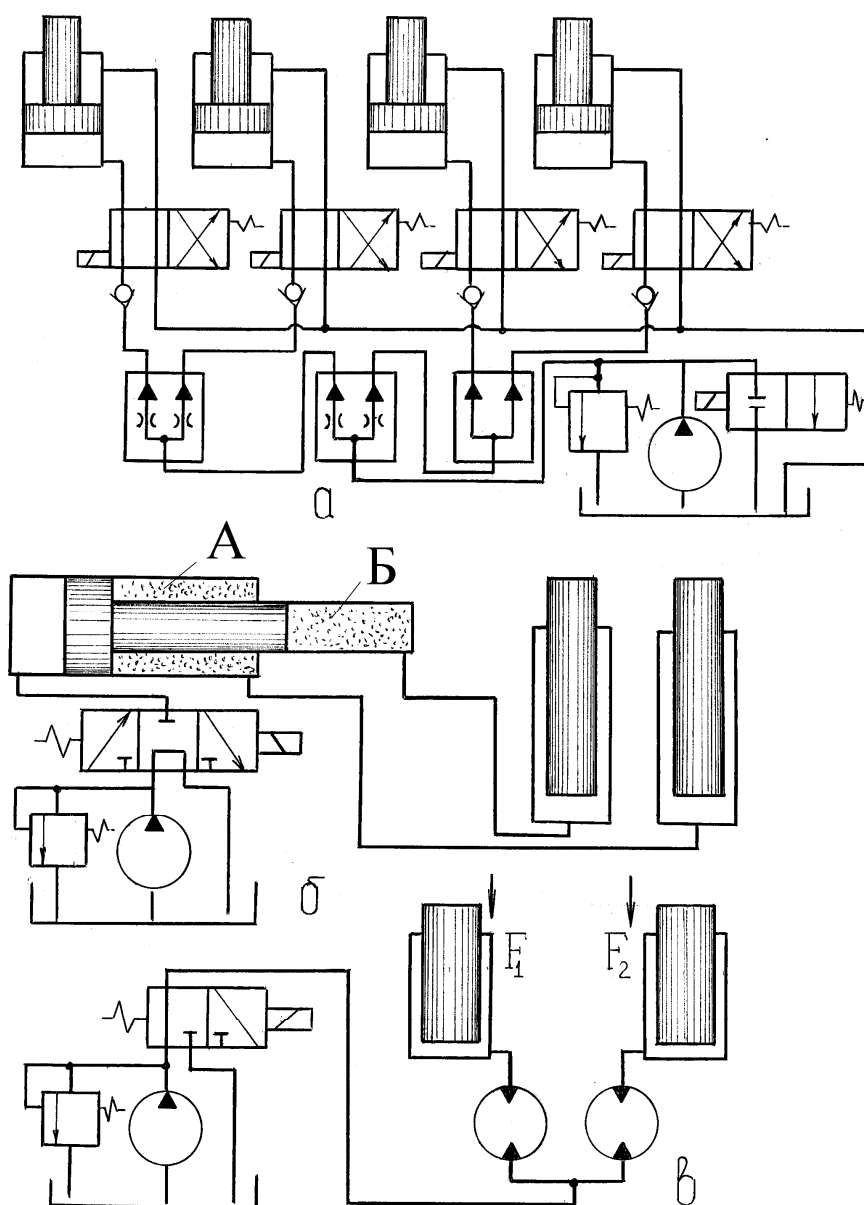


Рисунок 2.34. Системи синхронізації руху

На *рис. 2.34 а* показана схема системи синхронізації зі стандартними дільниками потоку дросельного типу, що забезпечують синхронний рух штоків чотирьох гідроциліндрів при будь-якому розподілі навантаження між ними.

На *рис. 2.34, б* показана схема системи синхронізації двох гідроциліндрів за допомогою найпростішого об'ємного дільника потоку, побудованого на базі поршневого гідроциліндра, в якому площі порожнин А і Б рівні між собою. Природно, що в цьому випадку в порожнині робочих гідроциліндрів надходитиме однакова кількість робочої рідини, тим самим, забезпечуючи синхронність їх руху.

На *рис. 2.34, в* показана схема системи синхронізації двох гідроциліндрів за допомогою двох роторних машин з жорстко пов'язаними роторами.

Однак, як схема (б), так і схема (в) не можуть забезпечувати стабільний рух гідроциліндрів при неоднаковій зміні навантаження, хоча усереднена швидкість руху буде однакова. Тому ефективніше з точки зору забезпечення стабільності руху є схема зі стандартними дільниками потоку, які можуть перерозподіляти потік рідини між об'єктами синхронізації..