

## **ЛЕКЦІЯ № 16 Основи проектування об'ємного гідроприводу**

### **Змістовий модуль 2. Гідро- та пневмоприводи.**

#### **Тема: Дросельне регулювання гідроприводу**

Мета: Вивчити призначення та особливості дросельного способу регулювання гідроприводу.

#### **План лекції**

- 16.1 Особливості дросельного способу регулюванням.
- 16.2 Послідовне включення дроселя.
- 16.3 Паралельне включення дроселя.

#### **Рекомендована література**

1. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, Д.П.Журавель, С.І.Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с. (с. 149 – 154? 159 - 177).
2. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А.Дідур, О.Д.Савченко, С.І.Пастушенко, С.І.Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с. (с. 119 – 125, 129 - 144).
3. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Палишкин; – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с. (с.126 - 176).
4. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов / А.П.Исаев, Б.И.Сергеев, В.А.Дидур; – М.: Агропромиздат, 1990. – 400с. (с. 89 - 141).
5. Карасев, Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В.Карасев;–Минск: “Высшая школа”, 1983 – 288 с. (с. 44 - 60).
6. Костюченко, Э.В. Практикум по гидравлике и гидромеханизации сельскохозяйственных процессов / Э.В. Костюченко, В.И.Лаптев, Л.А.Холодок; – Минск, Ураджай, 1991. – 272 с. (с.146 - 167).

#### **Матеріал лекції**

##### **1. Класифікація регулюємих гідроприводів.**

У гідроприводах із дросельним регулюванням швидкість руху вихідних ланок гідродвигунів змінюється за допомогою регулюючих

гідроагрегатів, а в гідроприводах з об'ємним з допомогою регульованих гідромашин.

У стабілізуючому гідроприводі швидкість руху вихідної ланки гідродвигуна підтримується постійною, у програмному гідроприводі-змінюється по заданій програмі, а в слідкуючому гідроприводі-змінюється по визначеному закону в залежності від заданого впливу, величина якого заздалегідь невідома.

У сільськогосподарських машинах найбільше застосування знаходять гідроприводи з дросельним регулюванням, а в самохідних машинах з гідротрансмісією застосовуються гідропередачі з об'ємним регулюванням.

## 2. Гідроприводи з дросельним керуванням.

*Дросельний спосіб регулювання* швидкості через великі втрати потужності менш ефективний, особливо при експлуатації гідроприводів великої потужності. Однак гідравлічні схеми з дросельним регулюванням простіше і дешевше.

У гідроприводах із дросельним регулюванням застосовують переважно нерегульовані насоси, гідросхеми виконуються з розімкнутою циркуляцією. Характерно для цього способу нерівність:

$$Q_n > Q_d,$$

Тобто подача насоса  $Q_n$  більше, ніж витрата робочої рідини  $Q_d$  через гідродвигуни і частина робочої рідини постійно зливається в бак, не виконавши ніякої корисної роботи.

При дросельному регулюванні можливі два принципово різних способи включення регулюючого дроселя: послідовно з гідродвигуном і паралельно гідродвигуна.

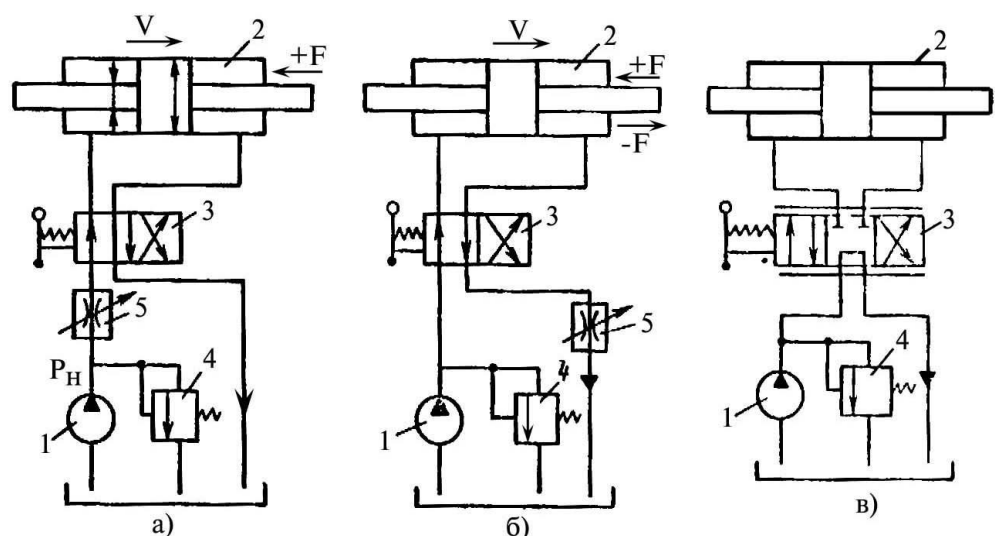


Рис 1. Схеми гідроприводів із дросельним регулюванням: а - дросель на вході; б - дросель на виході; в - дроселювання в розподільнику на вході і

виході.

**Послідовне включення** регулюючого дроселя може бути здійснене в трьох варіантах: дросель включений на вході в гідродвигун, на виході з нього і на вході і виході одночасно (рис. 1). На приведених схемах нерегульований насос 1, гідродвигун - гідроциліндр 2 із двостороннім штоком, розподільник 3 двохпозиційний на схемах а і б, трьох позиційний на схемі в. Клапан 4 у даному випадку є переливним. Дроселем 5 (чи дроселіруючим розподільником на схемі в) можна регулювати швидкість переміщення поршня.

При повному відкритті дроселя швидкість поршня буде максимальна. При зменшенні відкриття тиск перед дроселем підвищується, клапан відкривається і пропускає частину подачі насоса. Швидкість  $V_{\Pi}$  поршня при цьому зменшується. При повному закритті дроселя вся подача насоса направляється через клапан на злив у бак, а швидкість поршня дорівнює нулю. При постійному відкритті дроселя і збільшенні подоланого навантаження, тобто сили  $F$ , тиск насоса зростає, витрата через клапан збільшується, а швидкість поршня зменшується.

Знайдемо залежність між швидкістю  $V_{\Pi}$  поршня і навантаженням  $F$ , зневажаючи всіма гідравлічними опорами крім дроселя (чи вікон дроселіруючого розподільника).

$$V_{\Pi} = Q / S_{\Pi}$$

де  $Q$  - витрата рідини через гідроциліндр, дорівнює витраті через дросель:

$$Q_{\Pi} = Q_{др} = \mu S_{др} \sqrt{(2/\rho) p_{др}},$$

де  $\mu$  - коефіцієнт витрати;  $S_{др}$  - площа прохідного отвору дроселя;  $p_{др}$  - перепад тиску на дроселі:

$$\Delta p_{др} = p_H - p_{\Pi},$$

де  $p_{\Pi}$  - тиск в гідроциліндрі, обумовлений навантаженням і площею поршня:

$$p_{\Pi} = F / S_{\Pi},$$

$S_{\Pi}$  - ефективна площа поршня.

Гідродвигун, наприклад, гідроциліндр при розрахунку гідропривода можна розглядати як особливий місцевий гідравлічний опір, що викликає втрату тиску. Виражаючи з урахуванням формул (86)-(88) будемо мати

$$V_{\Pi} = \mu (S_{др} / S_{\Pi}) \sqrt{(2/\rho) [p_H - (F / S_{\Pi})]},$$

Швидкість  $V_{\Pi}$  при цьому не залежить від того, чи розташований дросель на вході в гідродвигун чи на виході з нього.

Для симетричного дроселіруючого золотникового розподільника і для гідроциліндра з двостороннім штоком витрати в робочих вікнах і перепади тиску в них однакові, тому для перепаду тиску на золотнику і  $V_{\Pi}$  будемо мати

$$\Delta P_{др.з.} = 0,5(P_H - P_3),$$

$$V_{II} = \mu_{др.з.} (S_{др.з.} / S_{II}) \sqrt{(P_H - F / S_{II}) / \rho}.$$

Отже, при однакових навантаженнях  $F$  і швидкостях  $V_{II}$

$$\sqrt{2} \mu S_{др.з.} = \mu_{др.з.} S_{др.з.}$$

а при  $\mu = \mu_{др.з.}$ ,  $\sqrt{2} S_{др.з.} = S_{др.з.}$  тобто площа кожного з робочих вікон дроселюючого золотника в  $\sqrt{2}$  разів більше площі отвору дроселя.

Як видно з формул (89) і (90), залежність  $V_{II} = f(F)$ , тобто навантажувальна характеристика гідроприводу, при одночасному дроселюванні на вході і виході така ж, як і при одному дроселі на вході чи виході, і зображується спадаючою параболою (рис. 2), кожна з парабол відповідає своєму ступеню відкриття дроселя  $\bar{S} = S_{др} / S_{др.макс}$ .

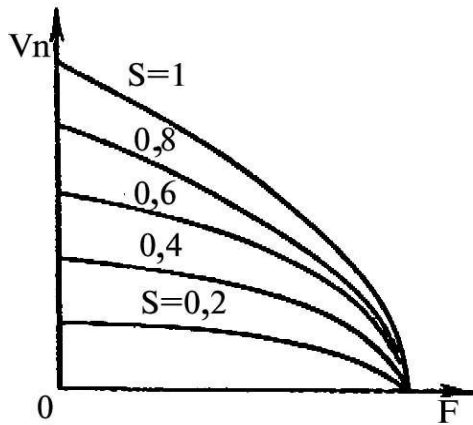


Рис. 2. Навантажувальні характеристики гідроприводу при послідовному включенні

Швидкість вихідної ланки при її регулюванні послідовно включеним дроселем пропорційна  $\bar{S}$  і її максимальне значення виходить при  $\bar{S} = 1$ . Максимальне навантаження  $F_{max}$ , при якій вихідна ланка гальмується ( $V_{II}=0$ ), від ступеня відкриття дроселя не залежить.

У відношенні втрат тиску і ККД, при регулюванні послідовно включеним дроселем, байдуже, де виконується дроселювання потоку: на вході в гідродвигун, на виході чи на вході і виході одночасно. Однак дроселювання потоку на виході має свої переваги. При цьому гідродвигун працює більш стійко, особливо при знакозмінному навантаженні. Мається можливість регулювання гідроприводу при від'ємних навантаженнях, тобто при напрямку подоланої сили  $F$  у сторону переміщення поршня. Крім того, при установці дроселя в зливальній гідролінії тепло, що виділяється при дроселюванні потоку рідини, відводиться в бак без нагрівання гідродвигуна, як це має місце в схемі з дроселем на вході. У результаті гідродвигун працює в більш сприятливих умовах.

При використанні в якості гідродвигуна гідроциліндра з однобічним штоком варто мати на увазі, що витрата рідини  $Q$  у напірній лінії не дорівнює витраті  $Q'$  у зливальній лінії, тому що ефективна площа поршня з однієї сторони менше, ніж з іншої, на площу перетину штока. При цьому можливі наступні два випадки шток працює на сжим (товкающий шток) і  $Q' < Q$ ; шток працює на розтягання (тянущий шток) і  $Q' > Q$ .

При дросельному регулюванні і будь-якому його включенню повний ККД гідроприводу визначається як втратами енергії в насосі і гідродвигуні,

так і втратами, обумовленими процесом керування. Через це доцільно ввести поняття ККД процесу керування  $\eta_{п.к.}$ , що являє собою відношення потужності потоку  $N_{Г=рГQ_{Г}}$ , витраченої в гідродвигуні, до потужності потоку  $N_{п.н=р_{н}Q_{н}}$  подаваного насосом, тобто

$$\eta_{п.к.} = p_r Q_r / ( p_H Q_H ),$$

Величина  $\eta_{п.к.}$ , оцінює втрати потужності на регулювання швидкості вихідної ланки гідроприводу (ім же можна враховувати і втрати тиску в сполучних трубопроводах).

Повний ККД гідроприводу  $\eta_m$  дорівнює добутку ККД насоса на ККД процесу керування і на ККД гідродвигуна. Наприклад, при використанні гідроциліндра:

$$\eta_m = \frac{F_{vн}}{N_{п}} = \frac{p_H Q_H}{N_H} \frac{p_r Q_r F V_{п}}{p_H Q_H p_z Q_z} = \eta_H \eta_{пк} \eta_z,$$

У [1] викладений доказ того, що навіть при ККД насоса і гідродвигуна рівних одиниці ККД регульованого гідроприводу з послідовним включенням дроселя не може бути більше 0,385.

Настільки низьке значення  $\eta_{п.к.}$  пояснюється тим, що на оптимальному режимі роботи гідропривода тільки 58 % подачі насоса направляється в гідродвигун (інша частина йде через клапан) і лише 2/3 тиску насоса використовується в гідродвигуні (інша губиться в дроселі), тобто втрати потужності відбуваються одночасно й у дроселі і в клапані.

Варто мати на увазі, що загальний ККД гідропривода буде ще нижче за рахунок утрат потужності в насосі і гідродвигуні.

**Паралельне включення дроселя** показано на схемі гідропривода (рис. 3)

У точці М робоча рідина розгалужується: один потік через розподільник 2 направляється в гідроциліндр, а інший - в регулюючий дросель Клапан 4 у даному випадку є запобіжним. Він відкривається лише при надмірному підвищенні тиску в системі.

Швидкість  $V_{п}$  вихідної ланки - штока гідроциліндра - регулюється зміною ступеня відкриття дроселя. Чим вона менше, тим більша частка подачі насоса направляється в гідроциліндр і тем більше швидкість  $V_{п}$ . При повному закритті дроселя швидкість  $V_{п}$  найбільша. При повному відкритті дроселя швидкість поршня зменшується до нуля чи до мінімального значення в залежності від навантаження  $F$ .

Для паралельного включення дроселя, припускаючи, що втрати тиску в розподільнику і гідролініях відсутні, маємо:

$$Q_H = Q_z - Q_{op} ; p_H = p_z - p_{op} = F / S_{п}$$

Друге рівняння записане на підставі рівності втрат тиску в паралельних трубопроводах.

Швидкість поршня:

$$V_{п} = Q_r / S_{п} = ( Q_H - Q_{th} ) / S_{п};$$

Витрата через дросель:  $Q_{op} = \mu S_{op} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot p_{op}} = \mu S_{op} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{F}{S_{op}}}$

Після підстановки в рівняння швидкості поршня  $Q_{ДР}$  з одержимо:

$$V_{II} = \frac{1}{S_{II}} \left( Q_H - \mu S_{op} \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{F}{S_{op}}} \right),$$

На рис. 4 показані навантажувальні характеристики гідроприводу при його регулюванні паралельно включеним дроселем, побудовані по формулі для ряду постійних значенні  $\bar{S} = S_{op} / S_{op\max}$

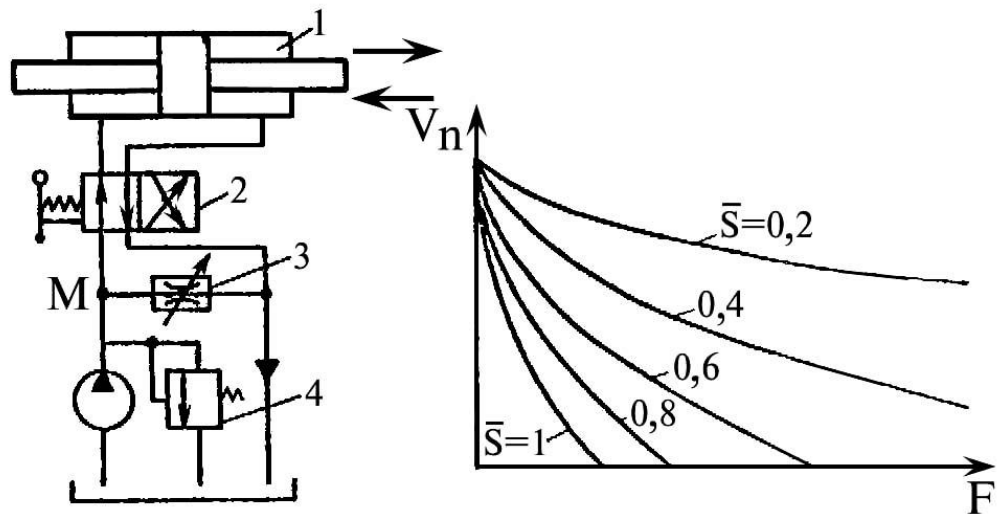


Рис. 3. Схема гідроприводу з дросельним регулювання при паралельному включенні дроселя  
Рис4. Навантажувальні характеристики гідроприводу при паралельному включенні дроселя

На відміну від характеристик при послідовному включенні дроселя, вони мають протилежну кривизну і виходять з однієї тички, що відповідає  $V_{II\max}$  і  $F=0$ . Навантаження  $F_{\max}$ , що викликає гальмування вихідної ланки, зменшується зі збільшенням ступеня відкриття дроселя і при  $S \rightarrow 0$   $F_{\max} \rightarrow \infty$ . При паралельному включенні виключається можливість регулювання при напрямку подоланої сили уздовж штока убік його переміщення.

ККД гідроприводу при паралельному включенні дроселя визначається так само, як і при послідовному включенні формулою , а при допущенні, що  $\eta_H = \eta_G = 1$ , він дорівнює ККД процесу керування  $\eta_{Г.П} = \eta_{П.К}$ .

У [1] доведено що ККД гідроприводу при паралельному включенні дроселя визначається по формулі  $\eta_{ПК} = 1 - \bar{S}$ .

### Питання для самоконтролю до лекції № 16.

1. Який гідропривод називається регульованим? Як він класифікується?
2. В чому відмінність дросельного регулювання від об'ємного, його

переваги і недоліки?

3. Які ви знаєте способи дросельного регулювання?
4. В чому особливість послідовного включення регулюючого дроселя?
5. В чому особливість паралельного включення регулюючого дроселя?
6. В чому переваги і недоліки послідовного і паралельного включення регулюючого дроселя?