
ТЕХНОЛОГІЇ І ОБЛАДНАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ. МЕХАТРОНІКА

DOI <https://doi.org/10.32782/1994-4691-2025-1-75-9>

УДК 621.225

**АНАЛІЗ РОБОТИ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИМ НАСОСОМ****ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE HYDRO-MECHANICAL
CONTROL SYSTEM OF AN AXIAL-PISTON PUMP**

М. С. Волянський, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-3595-9365

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*e-mail: mvolianskij@ukr.net

Анотація. Мета – обґрунтувати уточнення у зображенні розподільника в схемах гідромеханічної системи керування аксіально-поршневого насоса (АПН), бо використовуване трипозиційне зображення розподільника не відображає усіх процесів роботи. Наукова новизна – запропонована схема розподільника відображає реальний процес роботи. Практична цінність – наведене зображення розподільника у схемі гідромеханічної системи керування АПН коректно відображає усі операції, що відбуваються при керуванні АПН, і рекомендується до використання в принципових схемах. Методи дослідження – теоретичні: аналізу і синтезу, абстрагування, індукції і дедукції та системного підходу, а також емпіричні: спостереження та порівняння. Основні результати – запропоновано зображення розподільника п'ятипозиційним у схемі гідромеханічної системи керування АПН, яке відображає реальні процеси роботи.

Ключові слова: гідроприводи сільськогосподарської техніки, об'ємні гідроприводи; гідроприводи ведучих коліс (ГВК); розподільник п'ятипозиційний.

Постановка проблеми.

У сучасній техніці - сільськогосподарській, дорожно-будівельній, комунальній та автомобільній - широкого поширення набули об'ємні гідроприводи із замкненим потоком робочої рідини [1, 13, 15]. У сільськогосподарській техніці їх застосовують для привода ведучих коліс, молотильних барабанів тощо [11].

Аналіз останніх досліджень.

Іноземні компанії - Parker Hannifin (США) [6], Bosch Rexroth (Німеччина) [2], Bondioli & Pavesi (Італія) [3], Sauer-Danfoss - Danfoss Power Solutions (Данія / США) [1, 14] тощо і також вітчизняна промисловість [5, 15], а саме підприємство «Гідросила АПМ» ПАТ «Гідросила Груп» (м. Кропивницький) виробляють аксіально-поршневі насоси (АПН) серій S, H, H2 [12] та K [7] (рис. 1) для гідроприводів із замкненим потоком. АПН серії PVS виготовляють з робочим об'ємом 33; 52; 71 і 90 см³, номінальним тиском 350 бар і максимальним тиском 420 бар; серії PVH – з робочим об'ємом 33; 52; 71; 90 і 112 см³, номінальним тиском 450 бар і максимальним тиском 480 бар; серії PVH2 з робочим об'ємом 75; 90 і 112 см³, номінальним тиском 420 бар і максимальним тиском 480 бар і серії PVK – з робочим об'ємом 100 см³ і номінальним тиском 420 бар і максимальним тиском 480 бар. АПН серії PVH, PVH2 і PVK мають можливість тандемування по стандарту SAE. АПН регульовані реверсивні.

В таких гідроприводах застосовують АПН з різними системами керування [4].



**Рис. 1. АПН для гідроприводів із замкненим потоком серій [12]:
а – PVS; б – PVH; в – PVH2 , г – PVK**

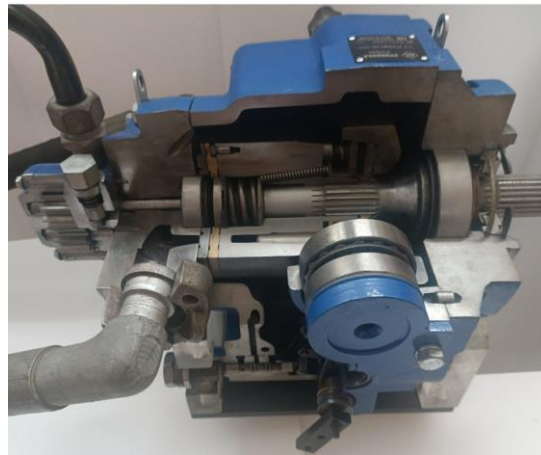
У АПН серії PVS застосовують такі системи керування: гідромеханічну МН, електричну трипозиційну ER і електричну пропорційну EP, у АПН серій PVN та PVN2 – крім зазначених, ще й гідравлічну пропорційну HD, а у АПН серії PVK - гідромеханічну МН і електричну пропорційну EP. Таким чином гідромеханічна система керування використовується в усіх серіях АПН (рис. 2), які використовують в об'ємних гідроприводах із замкненим потоком робочої рідини.

Методологія досліджень.

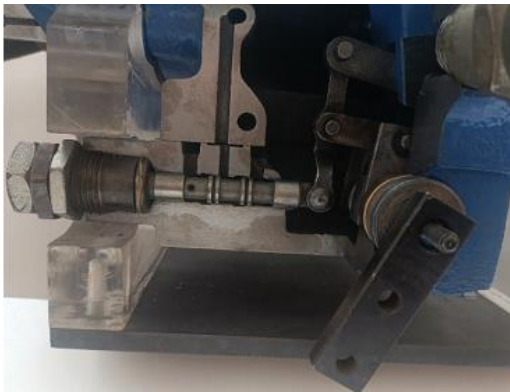
Аналіз використаних джерел свідчить, що на принципових гідравлічних схемах керування АПН з гідромеханічною системою має місце зображення трипозиційного дроселювального розподільника, яке не відтворює усі процеси роботи механізму керування, а саме не відтворює нейтральні робочі позиції, при яких відбувається фіксація кута нахилу похилого диска та його утримання у зафіксованому положенні. При цьому фіксується і робочий об'єм АПН, і його подача. Аналіз роботи гідромеханічної системи керування АПН демонструє, що у нейтральній робочій позиції розподільника для фіксації кута нахилу похилого диска необхідно закрити порожнину сервоциліндра у яку потрапляла робоча рідина від підживлювального насоса, а порожнину другого сервоциліндра, з якої рідина витіснялася сполучити із зливом.

Поширена принципова схема гідромеханічної системи керування АПН 1 (рис. 3) містить розподільник 8 дроселювальний трипозиційний чотирилінійний із закритим центром і дві робочі гідролінії 6 і 7 сервоциліндрів 3, які сполучені в нейтральній позиції розподільника 8 між собою та із зливною гідролінією 9, по якій рідина від

підживлювального насоса 13 через запобіжний клапан прямої дії 12 потрапляє у корпус АПН на злив



а



б



в

**Рис. 2. АПН з гідромеханічною системою керування:
а – загальний вигляд (розріз); б – механізм керування (розподільник у розрізі); в – розподільник (загальний вигляд). Фото автора**

Зміна положення важеля 5 керування розподільником 8 призводить до зміни положення його запірний елемент з нейтральної позиції в робочу і рідина потрапляє в один із сервоциліндрів 3, який змінює кут нахилу похилого диска АПН 1. Коли через тягу зворотного зв'язку 4 запірний елемент розподільника 8 буде встановлений у нейтральне положення, порожнина сервоциліндра 3, в який потрапляла робоча рідина, буде сполучена із зливною гідролінією 9, що призведе до повернення похилого диска АПН 1 в нульове (неробоче) положення.

Отже, таке зображення розподільника не відображає всього процесу роботи гідромеханічної системи керування АПН. Відображає тільки коли АПН не працює і коли відбувається зміна кута нахилу похилого диска. Фіксацію ж заданого кута нахилу диска, а значить і робочого об'єму АПН дане зображення розподільника 8 не відображає. Тому, що коли золотник розподільника повернеться із робочого положення в нейтральне, тоді і кут нахилу похилого диска зменшиться до нуля, відповідно і робочий об'єм АПН 1 також зменшиться до нуля, оскільки в нейтральній позиції розподільника 8 порожнини обох сервоциліндрів 3 сполучені із зливною гідролінією 9, що не відповідає дійсності.

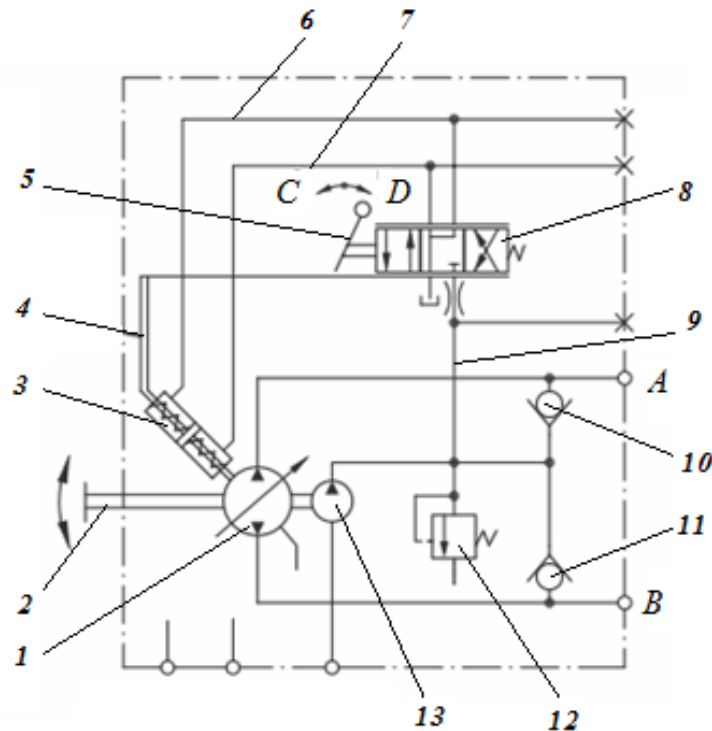


Рис. 3. Поширена принципова схема гідромеханічної системи керування АПН:
 1 – АПН реверсивний регульований з похилим диском; 2 – механічний привод АПН; 3 – сервоциліндри; 4 – зворотний зв'язок; 5 – важіль керування розподільником; 6, 7 – гідролінії сервоциліндрів; 8 – розподільник дроселювальний трипозиційний чотирилінійний із закритим центром; 9 – зливна гідролінія; 10, 11 – зворотні клапани; 12 – запобіжний клапан прямої дії підживлювального насоса; 13 – підживлювальний насос; А, В – гідролінії високого тиску; С, D – положення важеля керування

Результати досліджень.

На рис. 4 запропоновано більш детальну схему гідромеханічної системи керування АПН, де дроселювальний розподільник 1 зображено не трипозиційним, як на рис. 1, а п'ятипозиційним.

П'ятипозиційний розподільник має такі позиції: дві робочі I і V – подачі рідини у гідроциліндри 4 і 8; дві нейтральні робочі II і IV – одночасного запирання рідини в одному сервоциліндрі і зливу рідини з порожнини другого сервоциліндра; нейтральну III – коли порожнини обох циліндрів сполучені із зливною лінією.

Робочий об'єм АПН залежить від кута нахилу похилого диска β , який змінюють механізмом керування.

Процес роботи гідромеханічної системи керування АПН. У процесі роботи механізм керування насоса здійснює такі операції:

- фіксацію похилого диска у нейтральному положенні (позиція III);
- відхилення похилого диска від нейтрального положення (позиція I);
- фіксацію похилого диска в робочому положенні (позиція II), це нейтральне робоче положення;
- збільшення кута нахилу похилого диска (позиція I);
- зменшення кута нахилу похилого диска (позиція V);
- фіксацію похилого диска при зменшеному куті нахилу (позиція II);
- зменшення кута нахилу похилого диска до нуля (позиція III);
- зміну кута нахилу похилого диска на протилежний (позиція V);
- фіксацію кута нахилу похилого диска при зміні кута нахилу на протилежний (позиція IV), це реверсування АПН.

Коли важіль керування 17 (рис. 4) знаходиться у нейтральному положенні, золотник розподільника 1 пружиною 26 утримується у нейтральній позиції III, тоді сервоциліндри 4 і 9 сполучені із зливною лінією 24, оскільки пружини 5 і 10 сервоциліндрів переміщують поршні 6 і 11 через шатуни 7 і 12 похилий диск у нейтральне положення (робочий об'єм АПН дорівнює нулю), а значить і подача АПН відсутня. Тоді рідина від підживлювального насоса 20 через запобіжний клапан 23 потрапляє у зливну лінію 24 корпуса АПН. Гвинтовим механізмом 30 регулюють положення золотника 1 у нейтральній позиції, переміщуючи його відносно корпуса розподільника.

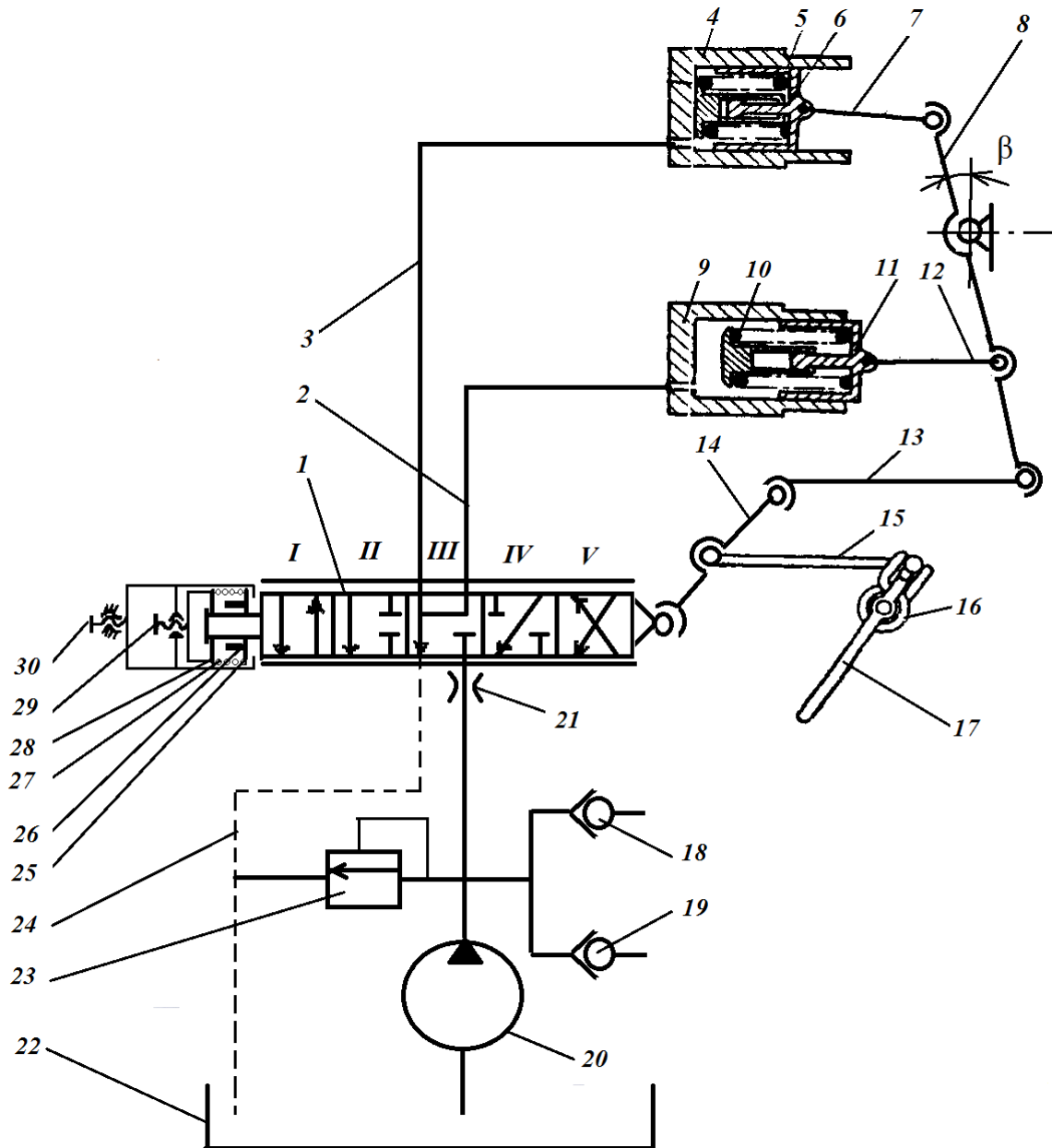


Рис. 4. Принципова схема гідромеханічної системи керування АПН:

1 – розподільник; 2, 3 – гідролінії і керування сервоциліндрами; 4, 9 – сервоциліндри; 5, 10 – пружини сервоциліндрів; 6, 11 – поршні сервоциліндрів; 7, 12 – шатуни; 8 – похилий диск; 13 – тяга зворотного зв'язку; 14 – двоплечий важіль; 15 – тяга; 16 – буферна пружина; 17 – важіль керування; 18, 19 – зворотні клапани; 20 – підживлювальний насос; 21 – дросель; 22 – бак; 23 – запобіжний клапан; 24 – зливна лінія; 25, 28 – шайби; 26 – втулка; 27 – пружина; 29 – гвинт механізму стискування пружини; 30 – гвинт встановлення золотника розподільника в нейтральну позицію; I, II, III, IV, V – позиції розподільника, відповідно: I і V – робочі; II і IV – нейтральні робочі; III – нейтральна

Якщо важіль керування 17 повертати в один або інший бік, тоді буферна пружина 16 закручується, сила її дії переважає силу дії пружини 26 і золотник розподільника переміщується у робочу позицію I або V. Зміщення золотника визначається відстанню між шайбами 25 і 28 та довжиною втулки 27. Максимальний хід золотника можливий тоді, коли шайба 28 зміститься до упору на золотнику. Величину ходу золотника регулюють гвинтовим механізмом 29 обмежувача ходу.

Коли золотник переміститься у робочу позицію I або V, робоча рідина від підживлювального насоса 20 під тиском надходить до сервоциліндра 4 або 9, поршень якого переміститься і через шатун відхилить похилий диск 8. При відхиленні похилого диска 8, через диференційну тягу зворотного зв'язку 13 і двоплечий важіль 14 гідромеханічної системи керування АПН запас енергії буферної пружини 16 буде вичерпано і золотник розподільника переміститься у позицію II або IV (нейтральну робочу). Тоді один сервоциліндр буде в положенні «Закрито», а другий – сполучиться із зливною лінією 24, а значить похилий диск фіксується у робочому положенні (фіксується робочий об'єм насоса). Сервоциліндр, у який потрапляла рідина, стане закритим, золотником закриється лінія подачі рідини (робочий об'єм АПН буде зафіксовано, а значить і його подачу).

Решта операцій здійснюється відповідно.

Висновки.

Запропонована схема механізму керування насосом, яка містить зображення розподільника чотирилінійного п'ятипозиційного дроселювального із закритим центром, відтворює всі операції, що відбуваються в процесі роботи механізму керування АПН і дає можливість зрозуміти усі реальні процеси, які відбуваються при роботі гідромеханічної системи керування АПН.

Список використаних джерел

1. Axial Piston Pump Accessories Market Outlook 2025-2032. URL: <https://www.intelmarketresearch.com/axial-piston-pump-accessories-market-3205>
2. Bosch Rexroth AG Mobile Applications Glockeraustraße 4 89275 Elchingen, Germany. URL: <https://www.pressoil.it/share/download/013256200-1519057134bosch-rexroth-a4vg-serie-40-pump-pompa-re92004.pdf>
3. Closed circuit variable-displacement axial piston pumps and motors. 398SCP016EN00-19-06-2019. 16 p. URL: <https://bondioli-pavesi.com/download/pdf/398SCP016EN00.pdf>
4. Feng Y., Jian Z., Li J., Tao Z., Wang Y., Xue J. Advanced Control Systems for Axial Piston Pumps Enhancing Variable Mechanisms and Robust Piston Positioning. *Applied Sciences*, 2023. 13 (17). 9658. <https://doi.org/10.3390/app13179658>
5. Аврунін Г., Глушкова Д., Подрігало М., Поторока А. Аналіз новітньої конструкції аксіально-поршневих гідравлічних машин зі зменшеними втратами на тертя та витокami. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 2024. № 106. С. 50–59. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.50>
6. Аксіально-поршневий насос зі змінним робочим об'ємом для замкнутого контуру – серія C. URL: <https://ph.parker.com/us/en/product-list/c-series-variable-displacement-axial-piston-pump-for-closed-circuit-applications>
7. Аксіально-поршневі насоси та гідромотори для замкнутого контуру серії PVK. Гідросила м. Кропивницький. HS-AC-01/06.2023. 24 с. URL: <https://www.hydrosila.com/files/product/axial-pumps-axial-pumps-zk-aptm-pvk.catalog.pdf?v=1766267990>
8. ДСТУ 2125:2023. Гідроприводи об'ємні. Насоси аксіально-поршневі регульовані. Технічні умови : [На заміну ДСТУ 2125-93; чинний від 2024-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 38 с.
9. ДСТУ 3455.2-96. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 2. Об'ємні гідромашини та пневмомашини. Київ: Держстандарт України, 1997. 61 с.

10. ДСТУ ISO 1219-2:2018 (ISO 1219-2:2012, IDT) Приводи гідравлічні і пневматичні та їхні елементи. Графічні умовні позначки та принципові схеми. Частина 2. Принципові схеми.
11. Макаренко М., Мельник О. Комбайни зернозбиральні : навч. посібн. для здобувач. проф. (проф.-тех.) освіти. Київ: Грамота, 2023. 256 с.
12. Насоси регульовані, замкнутий контур. URL: <https://www.hydrosila.com/products/axial-pumps/axial-pumps-zk/>
13. Гідравлічні машини планерного типу : електронний навчальний посібник. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. URL: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/mstsm_1/.
14. Поршневі насоси серії 90 США. URL: <https://www.danfoss.com/en/products/dps/pumps/mobile-pumps/mobile-piston-pumps/mobile-closed-circuit-piston-pumps/series-90-piston-pumps-us/#tab-overview>
15. Технологічна еволюція ринку аксіально-поршневих насосів високого тиску: тенденції та аналіз 2025-2033. URL: <https://www.marketreportanalytics.com/reports/high-pressure-axial-piston-pumps-348812#>

Стаття надійшла до редакції 05.05.2025

Стаття прийнята 12.05.2025

Статтю опубліковано 20.06.2025



ANALYSIS OF THE OPERATION OF THE HYDRO-MECHANICAL CONTROL SYSTEM OF AN AXIAL-PISTON PUMP

M. Volianskyi

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Summary

The objective is to justify clarifications in the distributor diagram in the hydromechanical control system of an axial piston pump (APP), as the three-position diagram used does not reflect all operating processes. Scientific novelty: the proposed distributor diagram reflects the actual operating process. Practical value: the distributor image shown in the APN hydromechanical control system diagram correctly reflects all operations that occur when controlling the APN and is recommended for use in schematic diagrams. Research methods – theoretical: analysis and synthesis, abstraction, induction and deduction, and a systematic approach, as well as empirical: observation and comparison. Main results – a five-position distributor image is proposed in the diagram of the APN hydromechanical control system, which reflects the actual work processes.

Keywords: hydraulic drives for agricultural machinery, volumetric hydraulic drives; hydraulic drives for drive wheels (HDW); five-position distributor.