

ГРЕЧКО СЕРГІЙ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0009-0008-8351-3253>e-mail: [sergius.grechko@gmail.com](mailto:sergius.grechko@gmail.com)

## АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ РЕГУЛЬОВАНИХ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ НАСОСІВ

В роботі проаналізовано механізми регулювання подачі регульованих аксіально-поршневих насосів з поворотною шайбою. Описано роботу систем гідравлічного, електронного та механічного керування кутом нахилу поворотної шайби. Визначено переваги та недоліки даних систем керування, та шляхи подальших досліджень для підвищення їх експлуатаційних характеристик.

**Ключові слова:** гідропривід, аксіально-поршневий насос, механізм регулювання подачі, поворотна шайба, методи керування.

HRECHKO SERGIY

Vinnytsia National Agrarian University

### ANALYSIS OF FLOW REGULATION MECHANISMS IN ADJUSTABLE AXIAL PISTON PUMPS

There is a growing trend towards expanding the use of hydraulic drives in mobile agricultural and road machinery. Hydraulic systems utilizing a single adjustable axial piston pump to supply multiple machine actuators have become particularly widespread. This places significant demands on the pump, influencing the efficiency, energy efficiency, and durability of the agricultural machine.

One of the key components of axial pumps is the flow control mechanism, which allows their operation to be adapted to varying operating conditions. The rotating swashplate is the basic working unit of the flow control mechanism in an axial pump. By changing the angle of the swashplate relative to the axis of piston rotation, the stroke length of the piston in the cylinder changes, and consequently, the pump's flow rate.

The following control methods are used to change the swashplate angle: mechanical, hydraulic, and electronic. Mechanical control of the swashplate angle employs various levers and screws. An analysis of this control method has shown that the feedback between the swashplate angle and the set pump flow rate is not fully explored in this method. Ultimately, this affects the accuracy and efficiency of the entire drive. In hydraulic control of the swashplate angle, hydraulic servodrives with regulators are used. Axial pumps with LS (Load Sensing) load-sensitive flow control systems have become widespread in mobile agricultural machinery. An analysis of this control system has shown that the quality of component manufacturing, the provision of feedback, and the quality of the hydraulic fluid have a significant impact on its performance. Therefore, further research and improvement of such a control system is advisable. Electronic control of the swashplate angle uses electronic components such as sensors, controllers, and actuators to monitor and regulate the parameters of the hydraulic system in real time. An analysis of this control method has shown that it can achieve high accuracy, efficiency, and automation of pump operation. However, this system is sensitive to external conditions and requires more qualified engineers for its development and operators for its use. Therefore, there is a need to research such systems in order to improve them and increase their performance characteristics.

**Keywords:** hydraulic drive, axial piston pump, flow control mechanism, swashplate, control methods.

### Постановка проблеми

Поширене використання гідравлічних систем у сільськогосподарських та дорожніх машинах вимагає надійних регульованих аксіально-поршневих насосів, які забезпечують роботу різних компонентів техніки. Ключовим аспектом їх функціонування є система регулювання подачі рідини, яка дозволяє насосу пристосовуватися до різних умов роботи. Існують різноманітні способи керування нахилом поворотної шайби, включаючи механічний, гідравлічний та електронний, кожен з яких має свої особливості та потребує додаткового дослідження.

Механічні системи часто стикаються з проблемами точності та ефективності. Гідравлічні методи мають складнощі з якістю роботи та зворотним зв'язком. Електронні системи, незважаючи на високу точність, вразливі до зовнішніх факторів і вимагають висококваліфікованого обслуговування.

Отже, подальше вивчення та вдосконалення цих механізмів є критично важливим для покращення їх продуктивності та надійності в експлуатації.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Останні дослідження регульованих аксіально-поршневих насосів зосереджені на підвищенні їх ефективності та надійності шляхом удосконалення механізмів та вузлів такого насоса. Одним з таких механізмів є механізм регулювання подачі рідини, що має суттєвий вплив на якість роботи насоса та гідросистеми в цілому.

У роботі, Облещенко А.Д., Журавель Д.П., та Болтянський Б.В. досліджували методи підвищення довговічності аксіально-поршневих гідромашин та їх вплив на ефективність насосів. Та зазначають, що існує висока залежність працездатності аксіальних насосів від технічного стану механізмів регулювання і управління, зовнішніх джерел управління, стану деталей регуляторів [1].

У праці Іванова М.І., Переяславського О. А., Шаргородського С.А. було досліджено роботу регульованого аксіально-поршневого насоса типу PVC-1 з LS системою керування подачі. У статті [4] викладено результати математичного моделювання насоса типу PVC-1 та виявлено, що найбільший вплив на якість статичної характеристики насоса має величина зазора у золотникових парах LS-регулятора. У роботі [5] було досліджено вплив зведеного моменту сил від поршнів аксіального насоса на поворотну шайбу, та виявлено

наявність значних пульсацій на поворотній шайбі, що може викликати пульсації подачі та тиску на виході насоса.

У роботах Буреннікова Ю. А., Козлова Л.Г. досліджено гідравлічні регулятори подачі аксіально-поршневих насосів. У статті [6] наведені існуючі системи керування подачею насоса та розроблено нову систему яка забезпечує статичну характеристику аксіально-поршневого насоса в режимі стабілізації подачі. У статті [2] розроблено систему керування аксіально-поршневого насоса з автоматичним комбінованим регулятором, який забезпечує стабілізацію потоку від насоса, а також роботу насоса в режимі постійної потужності.

У статті [3] Аврунін Г. А. та ін. аналізує технічні характеристики та конструктивні особливості регульованих аксіально-поршневих насосів вітчизняних виробників. Та зазначає, що в гідромашинах із регульованим робочим об'ємом застосовані ефективні регулятори з автоматичними та електрогідравлічними пропорційними системами, що забезпечує енергоефективність та високу продуктивність гідропривода в цілому.

Таким чином, сучасні дослідження зосереджені на підвищенні ефективності, надійності та ресурсу аксіально-поршневих насосів через удосконалення їх конструкцій та конструкцій механізмів регулювання подачі.

### Виклад основного матеріалу

Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарської техніки передбачають збільшення кількості робочих операцій, виконуваних однією машиною, що призводить до зростання кількості гідродвигунів. В той час для підвищення технічного рівня показників енергоощадності та економічної ефективності гідроприводів самохідних машин кількість насосних агрегатів зменшується.

В таких умовах виникає гостра необхідність у ефективному регулюванні подачі насоса відповідно до потреб приводних двигунів робочих органів, які мають різні силові та швидкісні характеристики.

На сьогодні існує кілька основних способів регулювання подачі регульованих аксіальних насосів, за допомогою поворотної шайби та за допомогою поворотного блока циліндрів [7, 8]:

Поворотна шайба 1 являє собою диск, нахилений під певним кутом до осі обертання блоку циліндрів, по якому рухаються поршні 3 (рис. 1, а). Зміна кута нахилу поворотної шайби змінює довжину ходу поршнів,

що призводить до зміни об'єму перекачуваної рідини і, відповідно, подачі насоса [10].

В самохідній сільськогосподарській техніці найбільшого використання набули аксіально-поршнєві насоси з поворотною шайбою так як вони мають високу точність регулювання, надійність системи, енергоефективність. В свою чергу аксіально-поршнєві насоси з поворотним блоком циліндрів (рис. 1, б) є менш затребувані, через свою складну конструкцію з більшою кількістю рухомих частин, що призводить до більших втрат на тертя.

Тому подальший аналіз механізмів регулювання подачі буде

проведено відносно аксіально-поршневих насосів з поворотною шайбою.

Механізми регулювання подачі регульованих аксіально-поршневих насосів для зміни кута нахилу поворотної шайби використовують такі методи керування як: гідравлічний, електронний та механічний.

Механізм регулювання подачі з гідравлічним керуванням кутом нахилу поворотної шайби аксіально-поршневого насоса являє собою гідравлічний сервопривод [10]. Одним з найпопулярніших представників таких механізмів є регулятор подачі з LS (Load Sensing) системою керування чутливою до навантаження. До основних компонентів LS регулятора (рис. 2) входять регулюючий золотник 1, який сприймає LS сигнал керування та відсічний золотник 2 та їхні пружини для налаштування. Кромки робочих поверхонь золотників у парі з каналами корпусу утворюють регульовані дроселі які керують потоком рідини до поршня 3, який діє на поворотну шайбу та змінює її кут нахилу. Також є регульований дросель 4 між лінією подачі насоса та лінією керуючого сигналу LS, постійний перепад тисків на даному дроселі забезпечує постійну величину подачі на робочий орган машини. Тиск насоса підтримується рівним тиску навантаження найбільш навантаженого споживача плюс постійний тиск керування. Що забезпечує роботу насоса в ощадливому режимі та максимальній ефективності [4].

Робота такого регулятора чутлива до якості виконання складових компонентів та якості робочої рідини. Так зазори в парах золотник – корпус, які обумовлюють виникнення перетоків між порожнинами, мають

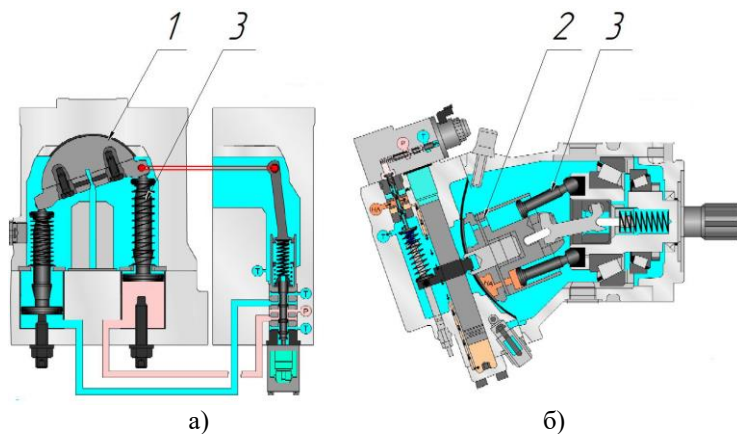


Рис. 1. Конструкції регульованих аксіально-поршневих насосів: а) з поворотною шайбою; б) з поворотним блоком циліндрів.

1 - поворотна шайба; 2 - поворотний блок циліндрів; 3 - поршень

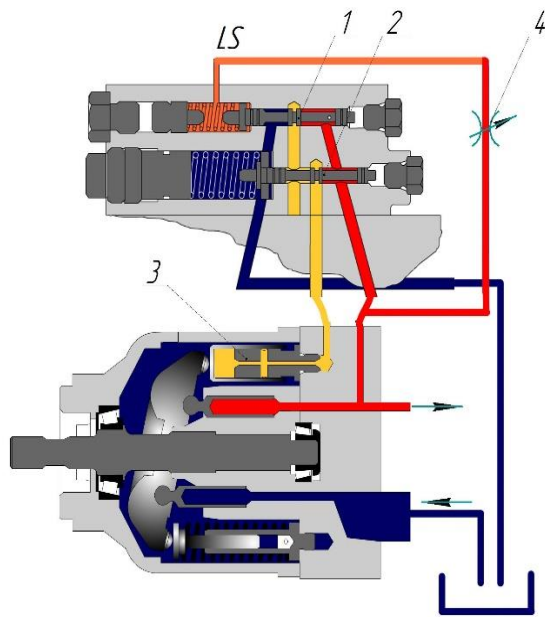


Рис. 2. Регульований аксіально-поршневий насос з LS системою регулювання подачі.

1 – регулюючий золотник; 2 – відсичний золотник;  
3 – поршень; 4 – регульований дросель

від датчиків, і різниця між ними, тобто похибка, подається на електромагніт 1 (рис. 3), який керує положенням золотника 2. Золотник 2, за допомогою системи важелів 3, передає рух на поворотну шайбу 4 та змінює її кут нахилу, що змінює подачу насоса. Датчики отримують нові показники в реальному часі, та передають, назад на блок керування, і завдяки зворотному зв'язку система коригує свою роботу, та забезпечує сталу підтримку параметрів роботи насоса [3].

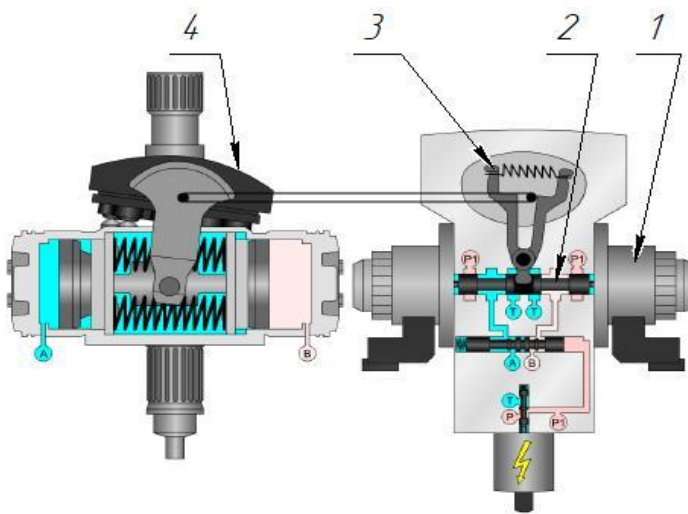


Рис. 3. Система електронного керування подачею регульованого аксіально-поршневого насоса.

1 – електромагніт; 2 – золотник; 3 – система важелів;  
4 – поворотна шайба

тиску, витрати, температури, положення. Тому є доцільними дослідження впливу температури, вібрації та електромагнітного поля на роботу датчиків та електромагнітів, задля їх вдосконалення та підвищення експлуатаційних характеристик роботи насоса.

Наступним варіантом керування сервоприводом насоса є механічна система яка використовує сукупність важелів для передачі сигналів, а також отримання зворотного зв'язку [12]. Цей тип був поширений раніше, але з розвитком технологій його поступово витісняє електронне та гідравлічне керування. Принципом роботи цієї системи керування є, те що, потрібне положення золотника 2 (рис. 4), задається сигналом, який приходить на сервопривод за допомогою механічного переміщення, яке створює оператор за допомогою важеля керування 4, який має декілька положень. Механічний сигнал посилюється за допомогою системи важелів 3.

негативний вплив на роботу регулятора та насоса в цілому. Перетоки також залежать від якості робочої рідини та її експлуатаційних характеристик. Також суттєвий вплив мають параметри пружин під торцями золотників, що забезпечують налаштування регулятора. Тому є доцільним подальше дослідження такого типу механізмів регулювання подачі з метою обґрунтування оптимальних параметрів його складових компонентів.

Механізм регулювання подачі з електронним керуванням кутом нахилу поворотної шайби аксіально-поршневого насоса використовує датчики для визначення поточних умов роботи і регулює подачу за допомогою електричних приводів [11]. Цей тип керування забезпечує високу точність, швидкість реакції, можливість автоматизації, а головне гнучкість налаштувань роботи насоса.

Принцип роботи цієї системи, полягає в тому, що роботою насоса керує електромагнітний сигнал який задає бажану частоту обертання, витрату, тиск тощо. Коли сигнал потрапляє на блок керування сервоприводом, він порівнює вхідне значення з фактичним значенням параметра, яке отримане

Керуючий сигнал може бути цифровим, тобто ШИМ-сигнал, або аналоговим. При використанні ШИМ-сигнала ми отримуємо широкий діапазон плавного керування сервоприводом, але головним недоліком буде уразливість до електромагнітних перешкод, які може створювати бортова електрика, перепади напруги та температура. Що в свою чергу буде впливати на зміни положення поворотної шайби і відповідно параметрів роботи насоса. При використанні аналогового сигналу вище перелічені недоліки мають суттєво нижчий вплив на роботу, але разом із цим ми маємо меншу точність та гнучкість налаштувань. Тому необхідне подальше дослідження способів захисту передачі сигналу до сервоприводу.

Ще одним суттєвим фактором, що впливає на точність роботи механізму регулювання подачі, є якість виконання датчиків, особливо це стосується датчиків

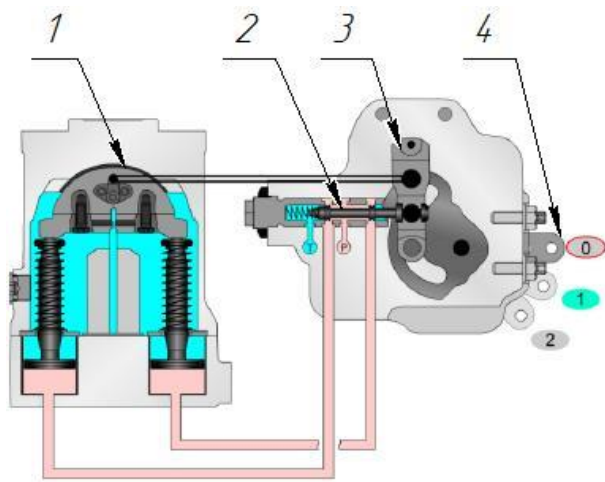


Рис. 4. Гідромеханічний сервопривод поворотної шайби аксіально-поршневого насоса. 1 - поворотна шайба; 2 - золотник; 3 - система важелів; 4 - важіль з варіантами положень  $\theta$ , 1, 2

Посилений сигнал передається на золотник 2, який змінює параметри потоку робочої рідини в гідравлічній системі, що змінює кут нахилу поворотної шайби та подачу насоса. Зворотній зв'язок відбувається внаслідок деформації елементів механічної системи, через зміну параметрів тиску, витрати, тощо, які передаються на датчик. Сигнал з датчика порівнюється з заданим сигналом. Різниця між ними використовується для корекції положення золотника.

Головними перевагами механічної системи керування кутом нахилу поворотної шайби є, те що, ця система відносно інших дешевша, простіша і відповідно надійніша. Недоліками є низька точність, обмеження в швидкості реакції, складність та обмеженість налаштувань, велика вага та габарити [12].

Оскільки механічна система керування складається з важелів, пружин та гвинтів, то якість виконання цих деталей суттєво впливає на точність роботи насоса. Також важливим фактором від якого

залежить подача насоса є взаємозв'язок між елементами механізму, кутом повороту шайби, їх деформації та зносу під час роботи. Тому є доцільним подальше дослідження та обґрунтування параметрів складових даної системи керування для підвищення експлуатаційних характеристик насоса

### Висновки

У даній статті було проведено детальний аналіз механізмів регулювання подачі регульованих аксіально-поршневих насосів, які широко застосовуються у мобільній сільськогосподарській та дорожній техніці. Основним керуючим елементом цих насосів є поворотна шайба, кут нахилу якої задає об'єм подачі насоса. Було розглянуто три найрозповсюдженіші методи керування кутом нахилу поворотної шайби: механічний, гідравлічний та електронний.

Аналіз показав, що ці методи керування насосом мають свої переваги та недоліки. Механічні системи керування характеризуються простою конструкцією, але мають проблеми з точністю та ефективністю. Гідравлічні системи, з LS (Load Sensing) керуванням, дозволяють автоматично адаптувати подачу насоса до навантаження, проте їх ефективність значно залежить від якості виготовлення та експлуатаційних характеристик гідравлічної рідини. Електронні системи забезпечують високу точність і автоматизацію, але потребують захисту від зовнішніх впливів і вимагають висококваліфікованого обслуговування.

Отже, дослідження механізмів регулювання подачі регульованих аксіально-поршневих насосів спрямоване на створення більш ефективних та надійних гідравлічних систем для мобільної техніки. Шляхом покращення якості виробництва, вдосконалення систем зворотного зв'язку та оптимізації алгоритмів керування можна значно підвищити продуктивність і енергоефективність цих насосів. Отримані результати дають напрямок подальших досліджень, що дозволить розробити нові конструкції насосів, які будуть відповідати сучасним вимогам сільськогосподарської та дорожньої техніки.

### Література

1. Облещенко А. Д., Журавель Д. П., Болтянський Б. В. Методи підвищення довговічності деталей та вузлів аксіально-поршневих гідромашин. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали III Міжнар. науково-практ. конф. Запоріжжя, 2021. С. 501–503.
2. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Система керування аксіально-поршневого насоса і дослідний зразок автоматичного комбінованого регулятора. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2009. № 5. С. 122–126.
3. Аврунін Г. А. Аналіз характеристик аксіально-поршневих гідромашин для приводів засобів аеродромно-технічного забезпечення. *Вісник ХНАДУ*. 2021. № 95. С. 15–25.
4. Іванов М. Статичні характеристики насосів типу PVC1. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2017. Т. 1, № 59. С. 79–96.
5. Іванов М. Удосконалення конструкції механізму регулювання подачі насосів типу PVC. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2017. Т. 21, № 35. С. 370–377.
6. Буренніков Ю. А. Аналіз переваг та недоліків існуючих регуляторів подачі та потужності в системі керування аксіально поршневого регульованого насоса. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 5. С. 107–113.
7. ВСП "Нікопольський фаховий коледж". Гідромашини. [nkddau.org.ua](http://nkddau.org.ua).

URL: <https://nkddau.org.ua/student/gidroprivid/index.htm> (дата звернення: 25.07.2024).

8. Axin M. Fluid power systems for mobile applications with a focus on energy efficiency and dynamic characteristics: Candidate of Engineering Sciences. Sweden, 2013.

9. Козлов Л. Вдосконалення систем керування гідроприводів з LS-регулюванням : дис. ... канд. техн. наук. Вінниця, 2000. 320 с.

10. Колісниченко Е. В., Мандрика А. С., Панченко В. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : курс лекцій. Суми : Сум. держ. ун-т, 2021. 176 с.

11. ЗАТ «Гідросила Груп». URL: <https://hydrosila.com/>.

12. Гідропривід сільськогосподарської техніки : навч. посіб. / О. Погорілець та ін. ; ред. О. Погорілець. Київ : Вища освіта, 2004. 368 с.

#### References

1. Obleshchenko A. D., Zhuravel D. P., Boltianskyi B. V. Metody pidvyshchennia dohovichnosti detalei ta vuzliv aksialno-porshnevnykh hidromashyn. Tekhnichne zabezpechennia innovatsiinykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi : materialy III Mizhnar. naukovo-prakt. konf. Zaporizhzhia, 2021. S. 501–503.

2. Buriennikov Yu. A., Kozlov L. H., Repinskyi S. V. Systema keruvannia aksialno-porshnevoho nasosa i doslidnyi zrazok avtomatychnoho kombinovanoho rehuliatora. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. 2009. № 5. S. 122–126.

3. Avrunin H. A. Analiz kharakterystyk aksialno-porshnevnykh hidromashyn dlia pryvodiv zasobiv aerodromno-tekhnichnoho zabezpechennia. Visnyk KhNADU. 2021. № 95. S. 15–25.

4. Ivanov M. Statychni kharakterystyky nasosiv typu PVC1. Promyslova hidravlika i pnevmatyka. 2017. T. 1, № 59. S. 79–96.

5. Ivanov M. Udoskonalennia konstruksii mekhanizmu rehuliuвання podachi nasosiv typu PVC. Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. 2017. T. 21, № 35. S. 370–377.

6. Buriennikov Yu. A. Analiz perevah ta nedolikiv isnuuyuchykh rehuliatoriv podachi ta potuzhnosti v systemi keruvannia aksialno porshnevoho rehulovanoho nasosa. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. 2012. № 5. S. 107–113.

7. VSP "Nikopolskyi fakhovy koledzh". Hidromashyny. nkddau.org.ua. URL: <https://nkddau.org.ua/student/gidroprivid/index.htm> (data zvernennia: 25.07.2024).

8. Axin M. Fluid power systems for mobile applications with a focus on energy efficiency and dynamic characteristics: Candidate of Engineering Sciences. Sweden, 2013.

9. Kozlov L. Vdoskonalennia system keruvannia hidropriyvodiv z LS-rehuliuванням : dys. ... kand. tekhn. nauk. Vinnytsia, 2000. 320 s.

10. Kolisnichenko E. V., Mandryka A. S., Panchenko V. O. Hidravlika, hidro- ta pnevmopriyvody : kurs leksii. Sumy : Sum. derzh. un-t, 2021. 176 s.

11. ЗАТ «Гідросила Груп». URL: <https://hydrosila.com/>.

12. Hidropriyvid silskohospodarskoi tekhniki : navch. posib. / O. Pohorilets ta in. ; red. O. Pohorilets. Kyiv : Vyscha osvita, 2004. 368 s.