



УДК 62-82:631.3:621.659

АПРОКСИМАЦІЯ ВИТРАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛОТНИКОВОГО  
РОЗПОДІЛЬНИКА LS-РЕГУЛЯТОРІВ

*Іванов Микола Іванович* к.т.н., професор  
*Руткевич Володимир Степанович* асистент  
*Закревський Вадим Петрович* аспірант  
Вінницький національний аграрний університет

*Ivanov M.*  
*Rutkevych V.*  
*Zakrevskyy V.*

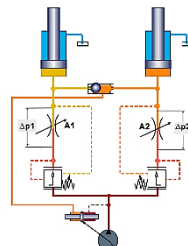
*Vinnytsia National Agrarian University*

**Анотація:** проаналізовано вплив витратних характеристик золотникових розподільників LS-регулятора на точність статичних характеристик аксіальних роторнопоршневих насосів типу PVC. Запропоновано методику апроксимації витратної характеристики LS-регулятора, яка дозволяє забезпечити плавний перехід між залежностями витрат робочої рідини.

**Ключові слова:** LS-гідросистема, аксіальний роторнопоршневий насос, витратна характеристика, апроксимація.

**Вступ**

Розвиток сучасної сільськогосподарської техніки передбачає збільшення кількості активних робочих органів технологічних машин, і, як результат, підвищення рівня гідрофікації приводів робочих органів [1,2]. При цьому виникає необхідність приведення в дію значної кількості систем гідроприводів гідравлічними насосами відповідної потужності та рівнем подачі робочої рідини. Виникає проблема в неможливості реалізації забезпечення кожного робочого органа, що приводиться в дію за допомогою гідропривода, окремими насосами. З цим завданням у повній мірі справляються «чутливі до навантаження» LS-гідросистеми, що надають змогу забезпечувати рідиною під тиском декілька різноманітних приводів робочих органів одним гідравлічним насосом [2].



**Рис. 1. Принцип дії LS-гідросистеми**

Термін LS (load sensing – відчуває навантаження) застосовується для гідравлічних систем, в яких миттєвий тиск навантаження служить сигналом зворотного зв'язку для керуючого пристрою, який, в свою чергу, встановлює необхідний тиск насоса. Тиск насоса підтримується рівним тиску навантаження найбільш навантаженого споживача плюс постійний керуючий тиск. За допомогою компенсаторів тиску підтримується постійний перепад тиску на дроселях A1 і A2, що і визначає відсутність залежності швидкості споживача від його навантаження (рис. 1). Це і є основним принципом роботи LS-гідросистем. Такі гідросистеми мають високий коефіцієнт корисної дії навіть при часткових навантаженнях, оскільки гідронасос здійснює подачу і тиск, що визначаються реальною потребою [3].

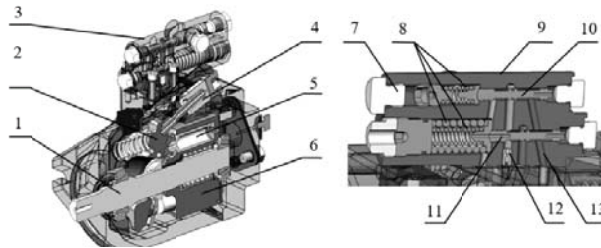
LS-гідросистеми набирають широкого розповсюдження, оскільки одними з переваг цих гідросистем є економічність та енергоощадність. Для реалізації цього принципу необхідно використовувати спеціальні конструкції гідронасосів, що здатні до регулювання подачі робочої рідини. Найкращим варіантом насосів для застосування в зазначених гідросистемах стають конкуренти шестеренних насосів – регульовані аксіальні роторнопоршнєві гідронасоси з похилим диском. В даних насосах можливе регулювання величини подачі робочої рідини шляхом зміни кута нахилу похилого диска, що є важливим у використанні таких насосів у складі LS-гідросистем.

**Мета**

Удосконалення методів дослідження роботи LS-регуляторів шляхом розроблення розрахункових залежностей, максимально наближених до реальних характеристик.

**Результати досліджень**

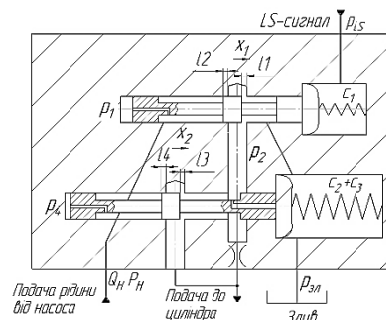
В Україні випуск даних насосів з відповідною системою регулювання налагоджено на підприємстві ПрАТ «Гідросила АПМ», м. Кропивницький. Це аксіальні роторнопоршневі насоси типу PVC, що призначені для об'ємних гідроприводів (рис. 2). Вони прості в управлінні, мають відносно малі габарити. Подача насоса прямо пропорційна частоті обертання приводного вала 1 і робочому об'єму, який регулюється шляхом зміни кута нахилу похилого диска 2. Подача насоса реалізується блоком циліндрів 6, в якому розміщуються дев'ять поршнів 5. Гідроциліндр 4 отримує сигнал від блока керування 3, і регулює кут нахилу похилого диска внаслідок чого при збільшенні кута нахилу похилого диска збільшується подача насоса, а при зменшенні кута нахилу від  $18^\circ$  до  $0^\circ$  подача зменшується до її припинення.



**Рис. 2. Аксіальний роторнопоршневий гідронасос типу PVC: а) тривимірне зображення насоса, б) LS-регулятор типу PVN: 1 – приводний вал; 2 – похилий диск; 3 – LS-регулятор; 4 – гідроциліндр; 5 – поршень; 6 – блок циліндрів; 7 – пробка; 8 – пружини; 9 – корпус LS-регулятора; 10 – золотник; 11 – відсічний золотник; 12 – дросель; 13 – гідролінія**

Важливою складовою цих насосів є наявність LS-регулятора типу PVN, що забезпечує регулювання роботою LS-гідросистеми (рис. 2,б). PVN-регулятор являє собою регулятор витрати, який порівнює тиск на виході насоса із LS-сигналом на вході відповідного гідродвигуна та підтримує постійний перепад тиску на дроселі, що встановлюється на вході даного гідродвигуна. LS-регулятор має забезпечувати високу точність роботи даного насоса, похибка його статичної характеристики має бути в межах  $\pm 4\%$ , а витрата робочої рідини, яку споживає LS-регулятор, не повинна перевищувати 3,0-3,5 л/хв [4].

Регулятор типу PVN використовує в якості запірно-регулюючих елементів два золотники (рис. 2,б). Золотник 10 є власно виконавчим елементом регулятора витрати, золотник 11 є відсічним, який обмежує тиск у лінії нагнітання насоса на рівні 25,0 МПа. Принципову схему даного LS-регулятора показано на рис. 3.



**Рис. 3. Принципова схема LS-регулятора**

Робочі вікна золотникових розподільників утворені торцями буртів золотника та кромками отвору, через який робоча рідина надходить до циліндра управління. В початковому положенні золотників відкриття вікон 11, 13 додатні, а протилежні вікна з перекриттям 12, 14 є закритими. В процесі роботи LS-регулятора при подачі робочої рідини від насоса тиск  $p_n$  зростає, також зростають тиски  $p_1$  та  $p_4$  під торцями золотників. Це призводить до появи сил на торцях золотників, які переміщують золотники вправо, долаючи опір пружин жорсткістю  $c_1$  та  $c_2+c_3$ . При цьому перекриття 12 та 14 зменшуються, також відбувається зменшення відкриття 11, 13. Початкові відкриття  $11 = 13 = 0,147$  см, перекриття  $12 = 14 = 0,14$  см. При подальшому відкритті робочих вікон (12 та 14) збільшується потік рідини, який надходить до



циліндра управління, що керує кутом нахилу похилого диска і, в залежності від навантаження виконавчого гідродвигуна, змінює подачу насоса. Принцип дії даного регульованого аксіального роторнопоршневого насоса передбачає створення при цьому перепаду тисків  $p_n$  та  $p_{LS}$ , рівним 20 бар.

Від точності забезпечення зазначених перепадів тисків залежить якість статичних характеристик насоса, яка визначається відхиленням реального значення подачі насоса від заданого. Як показали попередні результати теоретичних та експериментальних досліджень, якість процесу регулювання подачі насоса суттєво залежить від витратної характеристики LS-регулятора.

Підвищення точності визначення витратної характеристики можливо при максимальному наближенні розрахункових залежностей до реальних конструктивних особливостей зміни відкриття робочих вікон та характеру гідромеханічних процесів при проходженні рідини через робочі вікна золотників.

Вище показано, що робоче вікно золотника визначається положенням кромки золотника відносно кромки отвору у корпусі. Конструктивні форми цих елементів визначають нелінійний характер зміни відкриття робочого вікна при переміщенні золотника. На рисунку 4 показано розрахункову схему до визначення площі відкриття робочого вікна золотника.

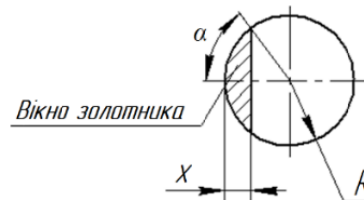


Рис. 4. Розрахункова схема до визначення площі відкриття робочого вікна золотника

Площа проекції робочого вікна згідно [5] має такий вигляд

$$(1)$$

де  $R$  – радіус отвору у корпусі регулятора,  $x$  – відкриття робочого вікна,  $\alpha$  – кут обхвату сегмента,  $\alpha = \arccos((R-x)/R)$ .

Також в процесі роботи даних золотників мають місце різні режими течії робочої рідини. При додатному перекритті золотника через зазори у з'єднанні золотникової пари відбувається потік робочої рідини в ламінарному режимі. Витрата при ламінарному режимі потоку робочої рідини визначається за формулою Хагена-Пуазейля

$$(2)$$

де  $D$  – діаметр отвору,  $\delta$  – радіальний зазор,  $\nu$  – в'язкість рідини,  $l$  – величина перекриття золотника,  $\Delta p$  – перепад тиску на робочому вікні.

В момент відкриття робочого вікна золотника встановлюється турбулентний режим потоку, що розраховується за дросельною формулою витрати робочої рідини через вікно золотника,

$$(3)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати,  $f_{op}$  – площа відкриття робочого вікна,  $\rho$  – густина рідини,  $p_0$  – тиск у лінії нагнітання,  $p_2$  – тиск на виході золотника.

Безпосереднє використання даних залежностей ускладнене наявністю перехідної зони від ламінарного режиму до турбулентного при наближенні кромки золотника до відкриття робочого вікна (рис. 5). Цей процес переходу достатньо складно описується, а його математична модель відсутня, так-як момент переходу від ламінарного режиму в турбулентний і навпаки неоднозначно залежить від числа Рейнольдса. При малих перекриттях робочого вікна формула (2) дає некоректні результати, в той же час залежність (3) при додатному перекритті не дає адекватного значення витрати рідини.

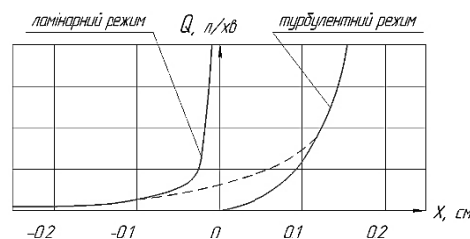


Рис. 5. Витрата робочої рідини в залежності від перекриття золотника, розрахована за формулами (2) та (3)



**References**

1. Andrenko P.N. *Napravleniya razvitiya ob'emnogo gidroprivoda* / P.N.Andrenko, Z.Ya. Lure // *Promyslova gidravlika i pnevmatyka*. – 2016. – № 2(52). – S. 3-14.
2. Bashta T.M. *Obyomnye gidravlicheskie privody* / T.M.Bashta, I.Z. Zaychenko, V.V. Ermakov, E.M. Kaymovich. – М.:Mashinostroenie, 1968. – 628 s.
3. Bondar V.A. *Printsipy LS i LUDV v gidrosistemak otкрытого kontura* / V.A. Bondar // *Visnyk SumDU*. – 2004. – № 12(58). – S. 41-45.
4. *Udoskonalennyya systemy keruvannya nakylom lyulky aksialnogo rotorno- porshnevoho nasosa typu PVC 1.63* / [Ivanov M.I., Pereyaslavskyy O.M., Shargorodskyy S.A., ta in] // *Promyslova gidravlika i pnevmatyka*. – 2015. – № 4(50). – S. 64-70.
5. Anurev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroytelya* / I.V. Anurev: V 3-k t. T.1.–6-e izd., pererab. i dop. – М.: Mashinostroenie, 1982. – 736 s.

**АПРОКСИМАЦИЯ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛОТНИКОВОГО  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ LS-РЕГУЛЯТОРОВ**

**Аннотация:** проанализировано влияние расходных характеристик золотниковых распределителей LS-регулятора на точность статических характеристик аксиальных роторнопоршневых насосов типа PVC. Предложена методика аппроксимации расходной характеристики LS-регулятора, которая позволяет обеспечить плавный переход между зависимостями расхода рабочей жидкости.

**Ключевые слова:** LS-гидросистема, аксиальный роторнопоршневой насос, расходная характеристика, аппроксимация.

**THE SPOOL VALVE FLOW CHARACTERISTICS APPROXIMATION OF LS-  
REGULATORS**

**Summary:** analyzed the influence of the flow characteristics LS-regulator's spool valves on the accuracy on static characteristics of axial piston pumps PVC type. Proposed method of approximation of the LS-regulator's flow characteristics, allows to smooth transition ensure between the dependency flow rate of the fluid.

**Keywords:** LS-hydraulic system, axial piston pump, flow characteristics, approximation.