

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЛІДКУЮЧОГО ГІДРАВЛІЧНОГО СТАБІЛІЗАТОРА

Леонід Пелевін, Микола Карпенко, Євгеній Горбатюк, Володимир Дзюбенко

Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, e-mail: gek\_gor@i.ua

## DETERMINATION PARAMETERS OF THE FOLLOWING HYDRAULIC STABILIZER

Leonid Pelevin, Mykola Karpenko, Ievgenii Gorbatiuk, Volodymyr Dzubenko

Kyiv national university of construction and architecture  
Povitroflotsky prospect 31, Kyiv, Ukraine, e-mail: gek\_gor@i.ua

**АНОТАЦІЯ.** Розроблена математична модель слідкуючого гідравлічного стабілізатора, який забезпечує раціональний процес роботи роторної землерийної машини з декількома робочими органами шляхом визначення керуючого впливу. Завдяки зворотному зв'язку слідкуюча система з певною точністю забезпечує відповідність між виходом і входом.

**Ключові слова:** математична модель гідропривід, слідкуюча система, стабілізатор, ротор.

**АННОТАЦИЯ.** Разработана математическая модель следящего гидравлического стабилизатора, которая обеспечивает рациональный процесс работы роторной землеройной машины с несколькими рабочими органами путем определения управляющего воздействия. Благодаря обратной связи следящая система с определенной точностью обеспечивает соответствие между выходом и входом.

**Ключевые слова:** математическая модель, гидропривод, следящая система, стабилизатор, ротор.

**ABSTRACT. Purpose.** With the aim of providing of rational process of work of machine it is necessary to work out the mathematical model of tracker hydraulic stabilizer that provides the rational process of work of rotor earthmover with a few working organs, by determination of managing influence. **Methodology/approach.** Based on research developed a mathematical model of the hydraulic servo stabilizer that provides streamlined workflow rotary earthmoving machines thrower or more cutting elements. **Findings.** The mathematical model of tracker hydraulic stabilizer, that provides the rational process of work of rotor earthmover with a few workers by organs, is worked out, by determination of managing influence. **Research limitations/implications.** Based on the research can be designed new hydraulic construction machines with efficient use of energy flows. **Originality/value.** Research in this area will increase the efficiency of energy flows in the hydraulic drive construction machines.

**Key words:** mathematical model, hydraulic, servo systems, stabilizer, rotor.

## ВСТУП

В процесі проектування і експлуатації складних гідравлічних приводів актуальними є питання надійності та управління поточкорозподільними системами з метою забезпечення раціонального процесу роботи. В сучасній техніці поточкорозподілення здійснюється за допомогою систем автоматичного керування (САК). При управлінні вступає в силу так званий “людський фактор”, тобто оператор, від досвіду і знань якого залежить надійність управління гідравлічними мережами. У цей період можливе помилкове збільшення або зниження подачі і, відповідно, тиску рідини, що може істотно порушити процес роботи машини. Так, можливе виникнення надлишкових напорів і зростання витрат робочої рідини, що призводить до збільшення енергетичних витрат і зносу устаткування, а також до не-

коректної роботи робочих органів, що керуються гідравлічним приводом.

## МЕТА РОБОТИ

З метою забезпечення раціонального процесу роботи машини необхідно розробити математичну модель слідкуючого гідравлічного стабілізатора, який забезпечує раціональний процес роботи роторної землерийної машини з декількома робочими органами шляхом визначення керуючого впливу.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Сучасні гідравлічні приводи будівельних машин складні та розгалужені системи, внаслідок чого робочі органи, які мають працювати одночасно (паралельно), живляться від різних джерел (гідронасосів). Це

призводить до збоїв в їхній роботі, тому виникає потреба в стабілізації шляхом встановлення в гідравлічну систему слідкуючого гідравлічного стабілізатора. Одними з таких машин є роторні землерийні машини з декількома робочими органами [1, 2]. Для стабілізації роботи цих машин оптимальним варіантом є встановлення гідравлічного стабілізатора із слідкуючим пристроєм.

У слідкуючих гідроприводах, особливо в системах автоматичного регулювання і управління, застосовують слідкуючі пристрої, за допомогою яких виконуючий орган (вихід) відтворює переміщення заданого або чутливого елемента системи (входу). Як правило, потужність на виході має бути більше потужності на вході, тому в слідкуючу систему включають підсилювальну ланку. У підсилювальній ланці слідкуючого гідроприводу завдяки сторонньому джерелу енергії вхідний сигнал зазнає багатократне посилення, а між входом і виходом забезпечується з певною точністю слідкуючий рух, при якому вихід слідкує за переміщенням входу. У системах слідкуючих гідроприводів із замкненим контуром вихід пов'язаний з входом, і тому вихідна ланка надає на вхід зворотний зв'язок.

За своєю структурою гідравлічні слідкуючі приводи належать до систем автоматичного керування (САК), в яких необхідні характеристики можуть бути забезпечені за допомогою розімкнутого чи замкнутого ланцюга керування.

Необхідної характеристики керування, тобто строгої відповідності між входом та виходом, можна досягти за допомогою замкнутого ланцюга керування (компенсаційна схема), в якому результат регулювання, що надходить по лінії зворотного зв'язку, автоматично порівнюється із сигналом керування (програмою), а отримуване неузгодження викликає дію, яка автоматично компенсує це неузгодження.

На основі досліджень була спроектована схема слідкуючого гідравлічного стабілізатора (рис. 1, 2) [3].

Функціональна схема слідкуючого гідравлічного стабілізатора є схемою системи автоматичного керування. Як і САК, гідравлічний слідкуючий стабілізатор складається з трьох основних вузлів: вузла вводу інформації, гідропідсилювача та виконавчого механізму.

Вузол вводу інформації має пристрій, що задає програму роботи робочого органа. Завданням його є формування керуючого сигналу на вході гідропідсилювача відповідно до заданої програми. У гідравлічному слідкуючому стабілізаторі керуючий сигнал надходить до виконавчого механізму не безпосередньо, а через підсилювач, що має джерело потужності.

При переміщенні робочого органа у просторі формується керуючий сигнал, який надходить у порівнюючий пристрій, де порівнюються сигнали, що надходять ланцюгами зв'язку. При неузгодженні цих сигналів елемент порівнюючого пристрою зміщується із нейтрального положення, причому сигнал, що є пропорційним похибці  $\delta$ , надходить далі де і відпрацьовується до повного зникнення, в результаті чого робочий орган переміщується із швидкістю слідкуючої подачі.

Таким чином, сукупність двох швидкостей переміщення – подачі, що задається, та слідкуючої подачі робочого органа – забезпечує стабільний потік паралельних ліній гідроприводу.

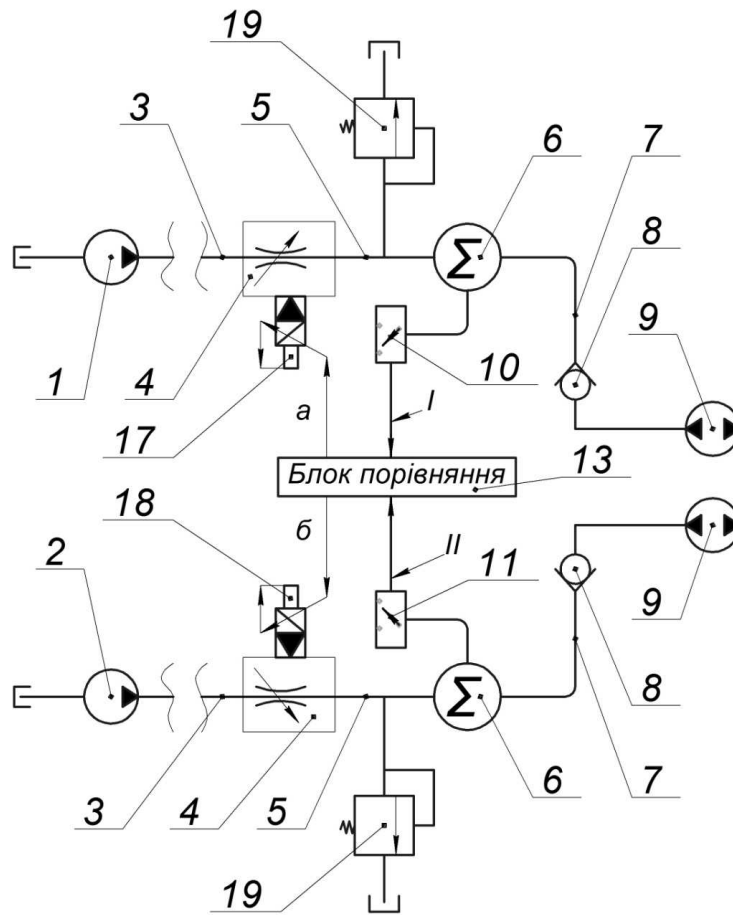
Завдяки зворотному зв'язку слідкуючої система забезпечується з певною точністю відповідність входу і виходу.

Точність системи визначається помилкою (похибкою), з якою виконавчий орган (вихід) відтворює переміщення чутливого елемента у часі.

На основі [4] до даної моделі можливо застосувати спрощену залежність визначення похибки  $\delta$ :

$$\int_0^t \delta = |x - y|, \quad (1)$$

де  $x$  – очікуване положення;  $y$  – істинне положення (положення робочого органа).

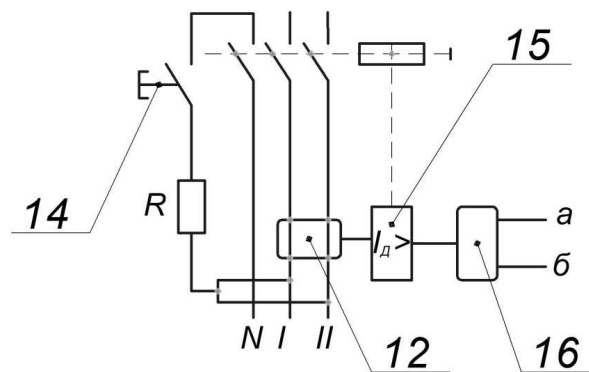


**Рис. 1.** Слідкуючий гідравлічний стабілізатор:

1, 2 – насоси; 3 – магістраль; 4 – регульовані дроселі; 5 – напірна магістраль; 6 – електричний витратомір; 7 – робоча магістраль; 8 – зворотні клапани; 9 – гідромотори; 10, 11 – прилади відліку часу; 13 – блок порівняння; 19 – запобіжний клапан

**Fig. 1.** Following hydraulic stabilizer:

1, 2 – pumps; 3 – highway; 4 – managed throttles; 5 – pressure manifold; 6 – electric flow; 7 – working manifold; 8 – check valves; 9 – hydraulic; 10, 11 – devices of account timing; 13 – block comparison; 19 – the safety valve



**Рис. 2.** Блок порівняння слідкуючого гідравлічного стабілізатора:

12 – диференціальний трансформатор сигналу; 14 – ручне відключення; 15 – блок операційного реле; 16 – дешифратор управління числових кодів

**Fig. 2.** Block the hydraulic servo comparison stabilizer:

12 – the differential transformer signal; 14 – manual disconnection; 15 – block operational relay; 16 – decipherer numerical control codes

Після визначення похибки узгоджується її постійна зміна у часі, що дає змогу аналізувати систему на точність (рис. 3).

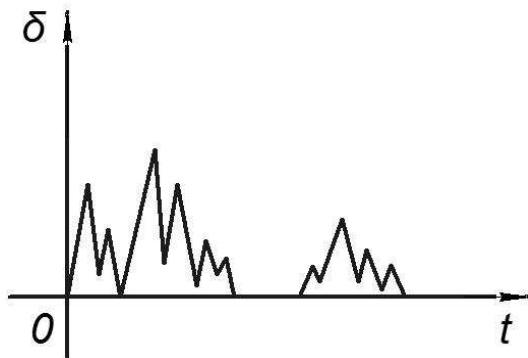


Рис. 3. Зміна похибки слідкуючої системи в часі

Fig. 3. Change of error tracking systems in time

Якщо система реагує на зміни і похибка постійно прямує до нуля, то після зміни параметрів система вважається стійкою.

Чутливість відповідних дій характеризується часом, протягом якого вихідна ланка реагує на переміщення чутливого елемента і характеризується часом запізнення спрацювання дроселів відносно зміни чутливого елемента.

Сумарний час запізнення спрацювання дроселя 4 (див. рис. 1) може бути в першому наближенні визначено за формулою

$$t_3 = \frac{\Delta V + V_1}{Q_H + 0,5Q_B}, \quad (2)$$

де  $\Delta V$  – зменшення об'єму рідини в системі при збільшенні тиску на величину  $\Delta p$ ;  $V_1$  – об'єм рідини, потрібної для заповнення додаткових об'ємів у системі ( $\text{м}^3$ );  $Q_B$  – виток в системі за робочим тиском;  $Q_H$  – номінальна витрата рідини в системі.

Формулу часу запізнення спрацювання спрощуємо згідно з [5, 6] і отримуємо спрощене рівняння:

$$t_3 = \frac{\delta S_1 L + V_1}{Q_H - 0,5K_B P}. \quad (3)$$

Із залежності очевидно, що для зменшення часу запізнення спрацювання необхідно, щоб:

1) робочі канали і трубопроводи були максимально короткими і жорсткими;

2) об'ємні втрати були знижені до мінімуму;

3) подача насоса повинна бути значною.

Згідно з розрахунками та параметрами, заданими в [7], будемо графік залежності часу запізнення спрацювання стабілізатора від зміни подачі гідравлічної рідини системи (рис. 4).

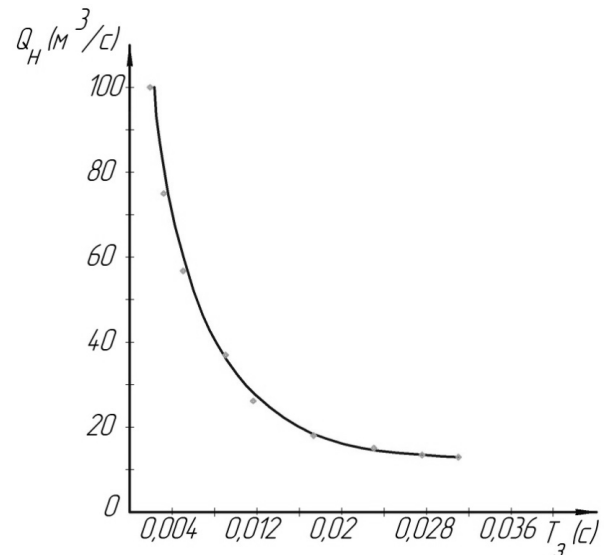


Рис. 4. Залежність часу запізнення спрацювання стабілізатора від подачі гідравлічної рідини системи

Fig. 4. Dependence time delay operation of the stabilizer from the hydraulic fluid supply system

Чутливість стабілізатора визначається для кожної конкретної системи за умови, що сигнал може передаватися з визначеним запізненням. Але чутливість стабілізатора повинна бути такою, щоб не порушувати стабільності роботи усього контуру.

Чутливість системи визначається здатністю виконавчого органа реагувати на переміщення чутливого елемента і визначається системою рівнянь

$$\begin{cases} a = k_x b; \\ N_y = k_n N_x, \end{cases} \quad (4)$$

де  $a$  – переміщення вихідної ланки приводу (робочого органа);  $k_x$  – передаточний коефіцієнт слідкуючого приводу (залежить від чутливості системи);  $b$  – вхідний керуючий вплив;  $N_y$ ,  $N_x$  – потужність вихідна та вхідна відповідно;  $k_n$  – коефіцієнт підсилення потужності.

Перше рівняння описує зміну положення робочого органа, друге зміну потужності приводу.

При інтегруванні обох рівнянь в часі зміни параметрів переміщення вихідної ланки  $\int_0^t a$  і вихідної потужності  $\int_0^t N_y$  повинні відповідати один одному при змінах і описуватися за одним законом, що доводить чутливість системи.

Передаточний коефіцієнт  $k_x$  слідкуючого приводу залежить від швидкодії спрацювання системи і визначається як

$$k_x = \frac{v}{t_3 \cdot L}, \quad (5)$$

де  $v$  – швидкість робочої рідини в системі;  $t_3$  – час запізнення спрацювання системи;  $L$  – сумарна довжина трубопроводу системи від входу до виходу однієї ланки.

Коефіцієнт підсилення потужності  $k_n$  залежить від параметрів дроселя і визначається згідно з [4] за формулою

$$k_n = \mu \pi d_3 \phi_n \sqrt{(2/\rho)((1-\sigma)p_n - F/(q \cdot \eta))}. \quad (6)$$

Після визначення потрібних параметрів системи інтегруємо систему рівнянь у часі.

На основі отриманих значень будемо графіки для порівняння та визначення чи є система чутливою (рис. 5).

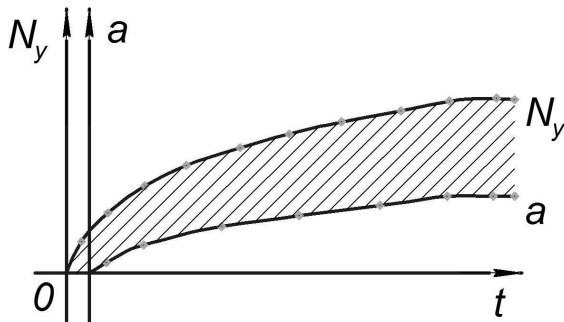


Рис. 5. Визначення чутливості системи

Fig. 5. Determination of the sensitivity of the system

Границя керованості даної системи визначатиметься площею підінтегрального значення між переміщенням вихідної ланки та вихідною потужністю.

## ВИСНОВКИ

Розроблена математична модель слідкуючого гідравлічного стабілізатора забезпечує раціональний процес роботи роторної землерийної машини з декількома робочими органами шляхом визначення керуючого впливу. Завдяки зворотному зв'язку, слідкуюча система з певною точністю забезпечує відповідність між виходом і входом.

Слідкуючий гідравлічний стабілізатор володіє достатньою точністю, так як після зміни параметрів системи похибка постійно прямує до нуля, та чутливістю, так як система чутливо реагує на зміни вихідного елемента. Також час запізнення спрацювання із збільшенням подачі зменшується, що приводить до швидшого реагування на зміну положення та стабілізації відповідно до вимог. Завдяки цьому робочі органи землерийної машини працюють синхронно, внаслідок чого зменшується енергоємність розробки ґрунту та збільшується продуктивність роторної землерийної машини.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Пелевін Л.Є., Карпенко М.М., Лаврик С.В. Інженерна машина. Патент України на корисну модель № 98595. МПК E02F 5/30 (2006.01) Бюл. № 8, 27.04.15.
2. Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика: Підручник/ [Л.Є. Пелевін, Д.О. Міщук, В.П. Рашківський, Є.В. Горбатюк, Г.О. Аржаєв, В.Ф. Красніков]. – К.: КНУБА, МОНУ. – 2015. – 340 с.
3. Пелевін Л.Є., Карпенко М.М., Чемерис В.В./ Гідравлічний стабілізатор / Заявка на корисну модель України № u2016 05675 від 26.05.2016.
4. Навроцький К.Л. Теория и проектирование гидро- пневмоприводов / Учебник для студентов вузов по специальности “Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика”. – М.: Машиностроение. 1991. – 334 с.
5. Пелевін Л.Є., Карпенко М.М. Гідравлічний гасник динамічних коливань Зб. “Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини”: Всеукраїнський збірник наукових праць. – Київ, 2014. – №83. – С. 97-104.

6. *Pelevin L., Karpenko M./ MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 16, No. 8. LUBLIN-RZESZOW 2014. – P. 119-126.*
7. *Абрашкевич Ю.Д., Пелевин Л.С., Карпенко Н.Н. / Гидроавтоматическая система гашения динамических колебаний / Горное оборудование и электромеханика. Научно-аналитический и производственный журнал. М., Издательство “Новые технологии”, №1 (110), 2015, – С. 34-39.*
4. *Navrotskyi K.L., 1991. Teoryia proektyrovanye hydro- pnevmopryvodov [Theory and planning of hydropneumodrives]. Moscow, Mashynostroenye Publ., 334. – (in Russian).*
5. *Pelevin L.E., Karpenko M.M., 2014. Hidravlichnyi hasnyk dynamichnykh kolyvan [Hydraulic extinguisher of dynamic vibrations]. Zb. Girnychi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashyny [Mining, construction, road and melioration machines], No.83, Kyiv, 97-104. – (in Ukrainian).*
6. *Pelevin L., Karpenko M., 2014. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery, Vol.16, No.8. LUBLIN-RZESZOW, 119-126.*
7. *Abrashkevych Yu.D. Pelevyn L.E., Karpenko N.N., 2015. Hydroavtomatycheskaia systema hashenyia dynamycheskykh kolebanyi [Hydroautomatic system of extinguishing of dynamic vibrations]. Hornoe oborudovanye y elektromekhanyka. Nauchno-analytycheskyi y proyzvodstvenni zhurnal. Moscow, Novie tekhnolohyy Publ., No.1(110), 34-39.*

## REFERENCES

1. *Pelevin L.E., Karpenko M.M., Lavryk S.V., 2015. Inzhenerna mashyna [Engineering machine]. Patent Ukraine No.98595.*
2. *Pelevin L.E., Mishhuk D.O, Rashkivs'kij V.P., Gorbatjuk C.V., Arzhaev G.O, Krasnikov V.F. 2015. Gidravlika, gidromashini ta gidropnevmoavtomatika [Hydraulics, hydromachines and hydro-pnevmoautomation]. Kyiv, KNUCA, 376. – (in Ukrainian).*
3. *Pelevin L.E., Karpenko M.M., Chemerys V.V., 2016. Hidravlichnyi stabilizator [Hydraulic*