

СТВОРЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРЕСИВНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

УДК 621.22

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ГІДРОПРИВОДІ, ЧУТЛИВОМУ ДО НАВАНТАЖЕННЯ, З ДОВГИМИ РОБОЧИМИ ГІДРОЛІНІЯМИ

Петров Олександр Васильович к.т.н., доцент
Козлов Леонід Геннадійович к.т.н., професор
Дусанюк Жанна Павлівна к.т.н., доцент
Черниш Артем Володимирович студент
Вінницький національний технічний університет

Petrov O.

Kozlov L.

Dusanyuk G.

Chernysh A.

Vinnitsa national technical University

Анотація: на основі існуючої схеми гідроприводу, чутливого до навантаження, проаналізовано можливість проведення теоретичних досліджень робочих процесів без врахування хвильових явищ у гідравлічних лініях. В результаті дослідження визначені умови, за яких вплив хвильових процесів при математичному моделюванні роботи гідроприводу, чутливого до навантаження з довгими робочими гідролініями може бути знехтуваний.

Ключові слова: гідропривод, математичне моделювання, хвильові процеси.

Вступ

В Україні експлуатуються мобільні робочі машини з гідроприводами постійної витрати на базі нерегульованих шестеренних гідронасосів та гідророзподільників дискретної дії. В таких гідроприводах під час регулювання витрати виконавчого гідродвигуна виникають значні втрати потужності [1]. Мінімізувати втрати потужності можна за рахунок використання гідроприводів чутливих до навантаження, в яких контроль величини витрати гідродвигуна автоматично коректується з величиною витрати в напірній гідролінії, що залежить від навантаження на гідродвигуні [2].

Постановка проблеми

У ВНТУ на кафедрі технології та автоматизації машинобудування (ТАМ) розроблено гідропривод, чутливий до навантаження, на базі мультирежимного гідрозподільника [4].

Розроблена схема гідроприводу може бути застосована у різного типу мобільних робочих машинах. Аналіз існуючих типів машин [1] такого класу показав, що часто гідродвигун виконавчого органу може знаходитися на значній відстані від розподільного елемента, а розподільний елемент, як правило, знаходиться безпосередньо у близькості до

гідронасоса, що сполучений із валом відбору потужності. Відстань від гідророзподільника до гідродвигуна як правило не перевищує 4 м. Але і на такій ділянці магістралі виникають хвильові процеси, що можуть суттєво впливати на роботу як гідродвигуна, так і самого гідроприводу в цілому [3,4]. Метою даних досліджень є аналіз можливості використання більш простої моделі руху рідини, що описується системою рівнянь в зосереджених параметрах.

Результати досліджень

На рис. 1. представлена розрахункова схема гідроприводу, чутливого до навантаження, на базі мультирежимного гідророзподільника, з урахуванням хвильових процесів. Робоча рідина подається від гідронасоса 1 і, проходячи внутрішні канали гідророзподільника, надходить у робочу гідролінію 24, що розбивається на n ділянок, до виходу яких підключений гідроциліндр 3. В цьому випадку, математична модель гідроприводу буде включати модель гідролінії з розподіленими параметрами, що описуються двома диференціальними рівняннями першого порядку в частинних похідних і краєвими умовами, що описують течію рідини в гідролінії [5]:

$$\frac{\partial p_n}{\partial x} = -\rho \cdot \left(\frac{\partial V_n}{\partial t} \right) - \xi_n \cdot V_n \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_n}{\partial x} = -\frac{1}{E_n} \cdot \frac{\partial p_n}{\partial t} \quad (2)$$

Для чисельного розв'язання такої системи рівнянь використовується різницевий метод перетворення рівнянь в частинних похідних до системи звичайних диференціальних рівнянь [6].

В результаті відповідних перетворень, отримаємо диференціальні рівняння, що описують рух рідини по окремим ділянкам гідролінії:

$$\begin{aligned} \frac{dV_1}{dt} &= \frac{2}{h \cdot \rho} \cdot (p_H - p_1) - \frac{\xi_1 \cdot V_1}{\rho} \\ \frac{dV_2}{dt} &= \frac{2}{h \cdot \rho} \cdot (p_1 - p_2) - \frac{\xi_2 \cdot V_2}{\rho} \\ &\dots \\ \frac{dV_n}{dt} &= \frac{2}{h \cdot \rho} \cdot (p_{n-1} - p_n) - \frac{\xi_n \cdot V_n}{\rho} \\ &\dots \\ \frac{dp_1}{dt} &= \frac{E_1}{h} \cdot (V_1 - V_2) \\ \frac{dp_2}{dt} &= \frac{E_2}{h} \cdot (V_2 - V_3) \\ &\dots \\ \frac{dp_{n-1}}{dt} &= \frac{E_{n-1}}{h} \cdot (V_{n-1} - V_n) \end{aligned} \quad (3)$$

де $V_1 - V_n$ – швидкість руху робочої рідини на окремій ділянці гідролінії,
 $p_1 - p_n$ – значення тиску на окремій ділянці гідролінії,
 $\xi_1 - \xi_n$ – коефіцієнти місцевого опору на окремій ділянці гідролінії ($\xi_1 - \xi_n = 1 \cdot 10^{-4}$ Н·с²·м⁻¹),
 $E_1 - E_n$ – модуль пружності робочої рідини на окремій ділянці гідролінії ($E_1 - E_n = 1,5 \cdot 10$ МПа),
 ρ – густина робочої рідини ($\rho = 900$ кг/м³),
 h – крок дискретизації, що розраховується за формулою:

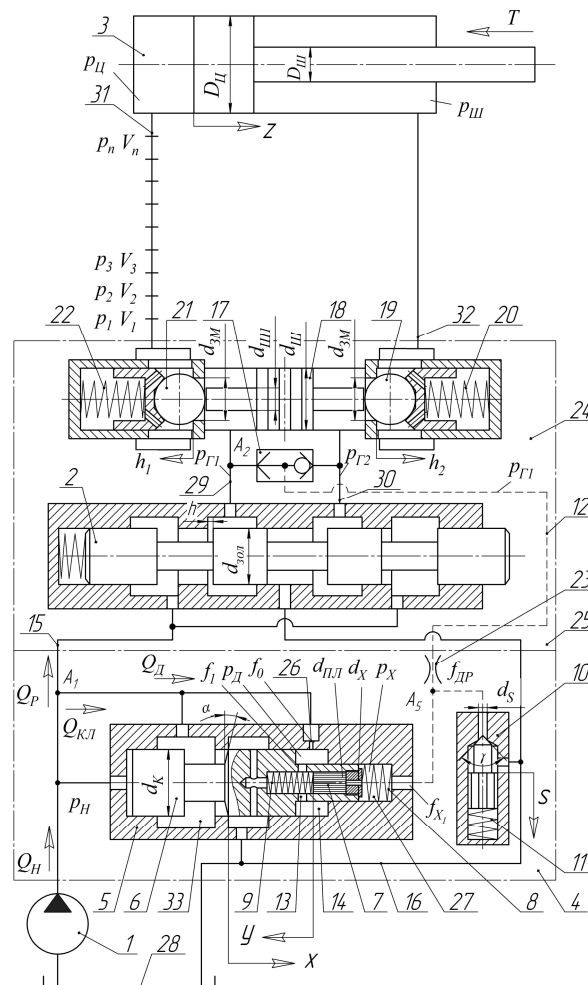


Рис. 1. Розрахункова схема гідроприводу, чутливого до навантаження, з довгими гідравлічними лініями та з врахуванням хвильових процесів

$$h = \frac{L}{n} \tag{4}$$

де L – довжина гідролінії,

n – число ділянок, на які розбито гідролінію по довжині.

Вибір достатньої кількості ділянок n пов'язаний із отриманням точності дослідження перехідного процесу. Відповідно [6] оптимальна кількість ділянок визначається з умови:

$$n \geq \frac{W_L}{q_H} \quad (5)$$

де W_L – об'єм рідини по довжині гідролінії,

q_H – робочий об'єм гідронасоса.

Розглянемо, наприклад, гідролінію довжиною $L = 4$ м, при діаметрі гідролінії $d = 20 \cdot 10^{-3}$ м. Звідси, об'єм рідини по довжині гідролінії:

$$W = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L}{4} = \frac{3,14 \cdot (20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4}{4} = 1,256 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (6)$$

При робочому об'ємі гідронасоса $q_H = 0,0001 \text{ м}^3$ (НШ100 = 100 см³), оптимальна кількість ділянок дорівнює:

$$n \geq \frac{W}{q_H} = \frac{1,256 \cdot 10^{-3}}{0,0001} = 12,56 \approx 13 \text{ шт}$$

Таким чином, крок дискретизації рівний:

$$h = \frac{L}{n} = \frac{4}{13} = 0,308$$

Отримані рівняння та результати розрахунків внесені до раніше складеної математичної моделі гідроприводу чутливого, до навантаження [4], що дозволяє отримати математичну модель гідроприводу при розподілених параметрах та з урахуванням хвильових процесів у робочій гідролінії 23, що має довжину 4 м.

Процес розв'язання отриманої математичної моделі проводився у програмі MATLAB, в результаті чого були отримані графіки перехідних процесів по значеннях тиску та переміщень елементів гідроприводу. Оскільки розглядається поведінка виконавчого гідродвигуна в залежності від врахування хвильових процесів, то основними параметрами є тиск у поршневій порожнині $p_{Ц}$ та переміщення поршня z . На рис. 2. представлено графік перехідного процесу, на якому порівнюються змінні $p_{Ц}$ та z , отримані без врахування хвильових процесів, та $p_{Ц_{хв}}$ та $z_{хв}$ – з врахуванням хвильових процесів.

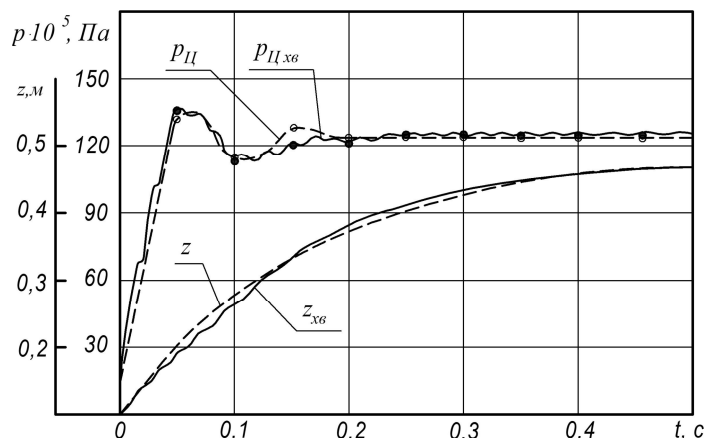


Рис. 2. Перехідний процес в гідроприводі без врахування хвильових процесів (штрихова лінія, $p_{Ц}$ та z) та з врахуванням хвильових процесів (суцільна лінія, $p_{Ц_{хв}}$ та $z_{хв}$)

Порівняння отриманих даних проводилось шляхом співставлення відповідних точок кривих. Визначення відносної похибки проводилось за формулою:

$$\Delta = \left| \frac{P_{Цхв} - P_{Ц}}{P_{Цхв}} \right| \cdot 100\% \quad (7)$$

В результаті співставлення відповідних даних $P_{Ц}$ без врахування хвильових процесів та $P_{Цхв}$ з врахуванням хвильових процесів визначено, що величина відносної похибки Δ не перевищує 5%, тобто не перевищує допустиме значення [6].

Висновки

В результаті математичного моделювання гідроприводу, чутливого до навантаження, з врахуванням хвильових процесів при розподілених параметрах і довжиною робочої гідролінії до 4 м виявлено, що характер протікання перехідного процесу відрізняється до 5% від значень, отриманих без врахування хвильових процесів. Таким чином, при подальших теоретичних дослідженнях математичної моделі гідроприводу, чутливого до навантаження з робочими гідролініями до 4 м хвильові процеси можна не враховувати.

Список літератури

1. Козлов Л.Г. Енергоощадний гідропривод, чутливий до навантаження, на базі мультирежимного гідророзподільника / Л.Г. Козлов, О.В. Петров // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВНАУ, 2012. – №2(36). – С.77-80.
2. Тарко Л.М. Волновые процессы в трубопроводах гидромеханизмов / Л.М. Тарко. – М.: Машигиз. – 1963. – 184 с.
3. Рабинович М.И. Анализ неустановившегося движения в сложных нелинейных системах гидроприводов с длинными трубопроводами / М.И. Рабинович // Вестник машиностроения. – 1971. – №6. – С.28-36.
4. Петров О.В. Формування величини зрівноважувального перепаду тиску в гідроприводі, чутливому до навантаження, на базі мультирежимного гідророзподільника / О.В. Петров, Л.Г. Козлов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №2. – С.179-184.
5. Навроцький К.Л. Комбинированный метод расчёта волновых процессов в длинных гидрولىниях объёмных гидроприводов / К.Л. Навроцький // Вестник машиностроения. – 1982. – №2. – С.42-49.
6. Дусанюк, Ж.П. Волновые процессы в гидросистемах с нелинейными упругими свойствами трубопровода: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.03 – Вінниця, 1989. – 250 с.
7. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы / Д.Н. Попов. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.

References

1. Kozlov L.H. Enerhooshchadnyi hidropryvod, chutlyvyi do navantazhennia, na bazi multyrezhymnoho hidrorozpodilnyka / L.H. Kozlov, O.V. Petrov // Promyslova hidravlika i pnevmatyka. – Vinnytsia: VNAU, 2012. – №2(36). – P.77-80.
2. Tarko L.M. Volnovye protsessy v truboprovodakh hydromekhanizmov / L.M. Tarko. – M.: Mashhyz. – 1963. – 184 p.
3. Rabynovych M.Y. Analiz neustanovyvshegosia dvyzhenyia v slozhnykh nelyneinyykh systemakh hydropryvodov s dlynnytu truboprovodamy / M.Y. Rabynovych // Vestnyk mashynostroenyia. – 1971. – №6. – P.28-36.
4. Petrov O.V. Formuvannia velychyny zrivnovazhuvalnoho perepadu tysku v hidropryvodi, chutlyvomu do navantazhennia, na bazi multyrezhymnoho hidrorozpodilnyka / O.V. Petrov, L.H. Kozlov // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2012. – №2. – P.179-184.
5. Navrotskiy K.L. Kombynyrovanyii metod raschëta volnovyykh protsessov v dlynnykh hydrolynyiaikh ob'ëmnykh hydropryvodov / K.L. Navrotskiy // Vestnyk mashynostroenyia. – 1982. – №2. – P.42-49.

6. *Dusaniuk, Zh.P. Волновые процессы в гидросистемах с нелинейным упругим свойством трубопровода: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03 – Vinnytsia, 1989. – 250 p.*
7. *Popov D.N. Нестационарные гидромеханические процессы / D.N. Попов. – М.: Mashynostroeniye, 1982. – 240 p.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ГИДРОПРИВОДЕ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ К НАГРУЗКЕ, С ДЛИННЫМИ РАБОЧИМИ ГИДРОЛИНИЯМИ

Аннотация: на основе существующей схемы гидропривода, чувствительного к нагрузке, проанализирована возможность проведения теоретических исследований рабочих процессов без учёта волновых явлений в гидравлических линиях. В результате исследований определены условия, при которых влияние волновых процессов при математическом моделировании работы гидропривода, чувствительного к нагрузке, с длинными рабочими гидролиниями могут не учитываться.

Ключові слова: гидропривод, математическое моделирование, волновые процессы.

MATHEMATICAL MODELING WORKFLOW IN LOAD-SENSING HYDRAULIC DRIVE WITH LONG WORKING HYDRAULIC LINES

Summari: based on the existing scheme of the load-sensing hydraulic drive, analyze the possibility of theoretical research workflows, excluding wave phenomena in the hydraulic lines . As a result of studies, the conditions under which the influence of wave processes in the mathematical modeling of the load-sensing hydraulic drive with long working hydraulic lines can be ignored .

Keywords: hydraulic drive, mathematical modeling, wave processes .