

Ж. П. Дусанюк, к.т.н., доцент,  
 О. В. Дерібо, к.т.н., доцент,  
 С. В. Репінський, к.т.н., доцент,  
 О. В. Черноволик, студент

Вінницький національний технічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОПРИВОДУ ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ З ДОВГОЮ НАПІРНОЮ ГІДРОЛІНІЄЮ

В будівельних, гірничих, сільськогосподарських та інших гідрофікованих машинах у випадках, коли виконавчий двигун розташований на значній відстані від гідростанції, доводиться використовувати довгі напірні гідролінії. Під час роботи машини з такими гідролініями в перехідних режимах можуть виникати хвильові процеси (нестационарний рух рідини), які впливають на якість її функціонування. Підходи до врахування впливу хвильових процесів під час моделювання гідроприводів запропоновані в роботах [1–3]. Теоретичні та експериментальні дослідження динаміки гідроприводів з довгими напірними гідролініями розглянуті в роботах [4–7]. Разом з тим, і тепер під час проектування гідроприводів з довгими напірними гідролініями актуальною задачею залишається швидке і всебічне виявлення впливу структури і параметрів приводу, величини і характеру навантаження на характеристики перехідних процесів, у т. ч., спричинених різкою зміною технологічного навантаження.

В роботі [7] запропонована математична модель гідроприводу поступального руху з довгою напірною гідролінією, придатна для імітаційного моделювання в програмному середовищі MATLAB Simulink (рис. 1). Основними складовими гідроприводу є насос постійної продуктивності 1, розподільник 2, гідроциліндр 3, запобіжний клапан 4, об'єкт керування 5.

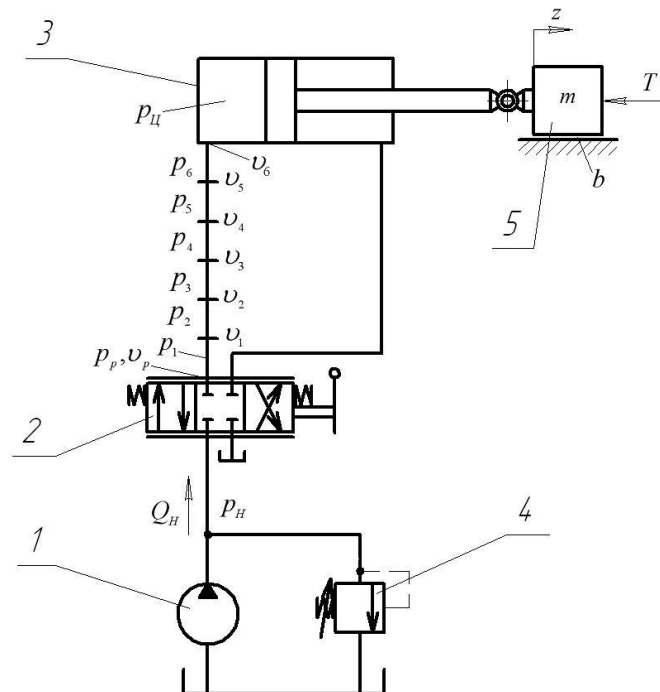


Рисунок 1 – Розрахункова схема гідроприводу поступального руху з довгою напірною гідролінією

Структурна схема математичної моделі гідроприводу з довгою напірною гідролінією, побудована на основі рівнянь його руху [7] показана на рис. 2. Ця схема наочно відображає всі зв'язки між розрахунковими блоками і суттєво спрощує розробку обчислювальної структури в середовищі MATLAB Simulink.

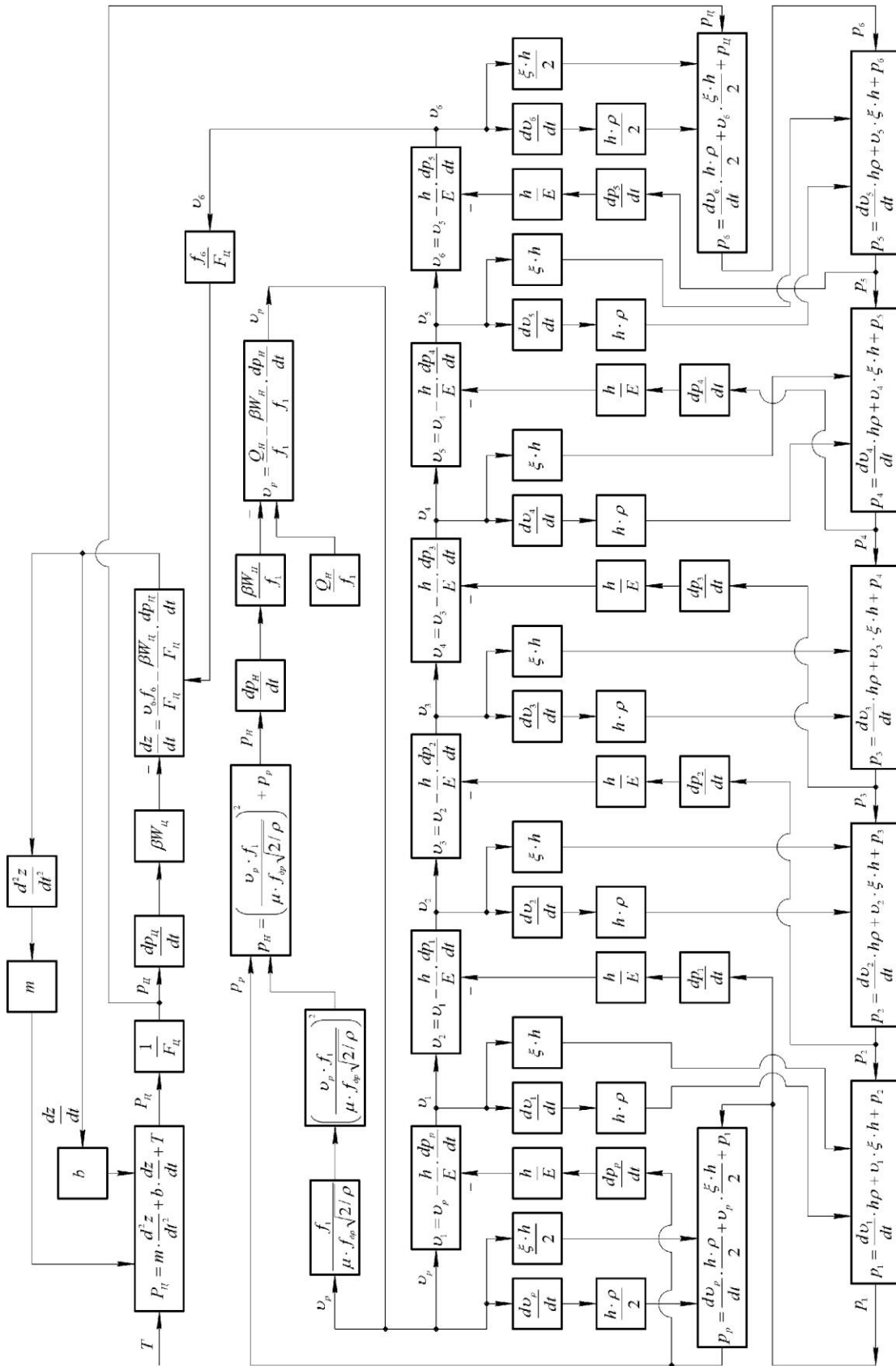
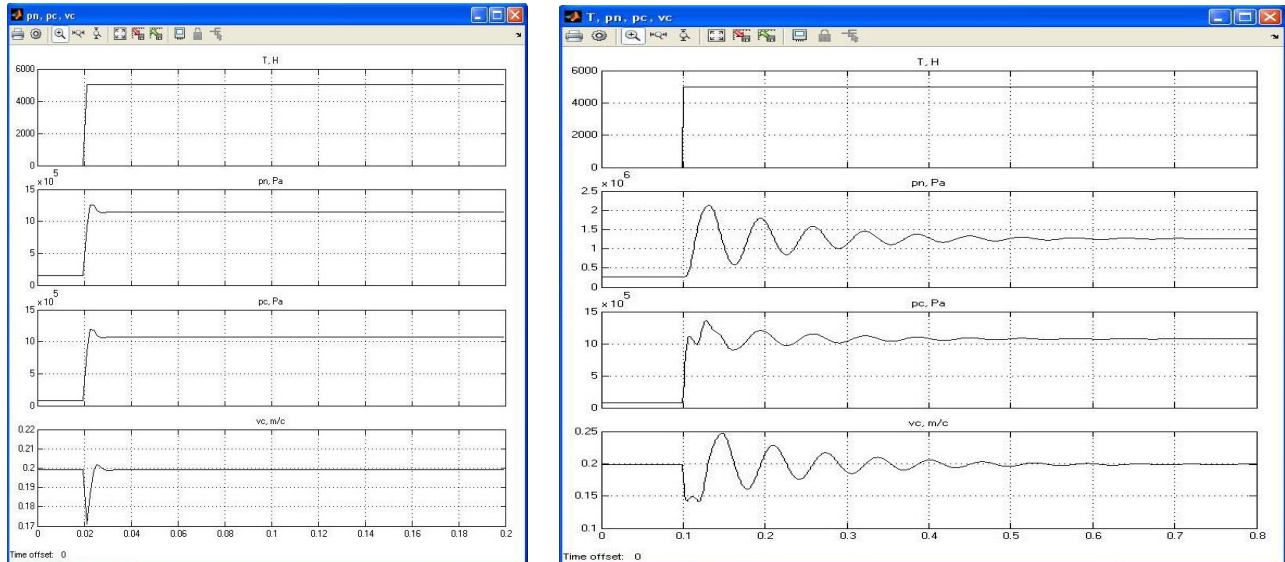


Рисунок 2 – Структурна схема математичної моделі гідропроводу з довгою напірною гідролінією

На розрахунковій схемі (див. рис. 1) і структурній схемі математичної моделі (див. рис. 2) прийняті такі позначення:  $Q_n$  – подача насоса;  $p_n$  – тиск на виході насоса;  $p_u$  – тиск в поршневій порожнині гідроциліндра;  $W_n$  – об’єм лінії нагнітання (між насосом і розподільником);  $W_u$  – об’єм поршневої порожнини гідроциліндра;  $m$  – зведена маса рухомих частин об’єкта керування;  $z$  – переміщення об’єкта керування;  $f_p$  – площа робочого вікна розподільника;  $f_1$  і  $f_6$  – відповідно площі отворів трубопроводу напірної гідролінії на першій і останній (шостій) ділянках,  $z$  – координата переміщення поршня гідроциліндра;  $b$  – зведений коефіцієнт швидкісного навантаження на штокові гідроциліндра;  $T$  – технологічне навантаження на шток гідроциліндра;  $F_u$  – ефективна площа поршня гідроциліндра;  $\beta$  – коефіцієнт стисливості робочої рідини;  $\rho$  – густина робочої рідини;  $\mu$  – коефіцієнт витрати робочого вікна розподільника;  $\xi$  – коефіцієнт питомого опору напірної гідролінії;  $v_p$  – швидкість руху робочої рідини на початку першої ділянки напірної гідролінії (на виході з розподільника);  $v_1 \dots v_6$  – швидкості руху робочої рідини в кінці відповідної елементарної ділянки напірної гідролінії;  $p_p$  – тиск робочої рідини на виході розподільника;  $p_1 \dots p_6$  – тиски в середній частині відповідної елементарної ділянки напірної гідролінії;  $p_u$  – тиск робочої рідини на вході в гідроциліндр;  $E$  – зведений модуль пружності ділянок напірної гідролінії, який враховує пружності робочої рідини і стінок трубопроводу;  $h = L/n$  – довжина елементарної ділянки напірної гідролінії (крок дискретизації);  $L$  – довжина трубопроводу напірної гідролінії;  $n$  – кількість ділянок, на які поділено напірну гідролінію.

На рис. 3 показані отримані імітаційним моделюванням графіки часових характеристик перехідних процесів у гідроприводі. Перехідні процеси, в даному випадку, спричинені ступінчастою зміною технологічного навантаження  $T$  від 0 до 5 кН.



а)

б)

Рисунок 3 – Перехідні процеси в гідроприводі без урахування (а) і з урахуванням (б) хвилювих процесів у напірній гідролінії: зверху вниз – технологічне навантаження  $T$ ; тиск на виході насоса  $p_n$ ; тиск в гідроциліндрі  $p_u$ ; швидкість руху об’єкта керування  $v$

Часові характеристики отримані за таких параметрів приводу:  $Q_n = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $W_n = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ;  $W_u = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ;  $m = 60 \text{ кг}$ ;  $f_p = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  $d_m = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ ;  $f_m = f_1 = f_6 = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  $b = 2000 \text{ Н/с} \cdot \text{м}$ ;  $F_u = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ;  $\beta = 0,625 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{Н}$ ;  $E = 1,57 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ ;  $\delta_m = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $\rho = 912 \text{ кг/м}^3$ ;  $\xi = 3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{с}$ ;  $L = 12 \text{ м}$ ;  $n = 6$ ;  $h = 2 \text{ м}$ ;  $\mu = 0,79$ .

На рисунках 4–6 показані графіки, які характеризують вплив деяких параметрів приводу на показники перехідних процесів.

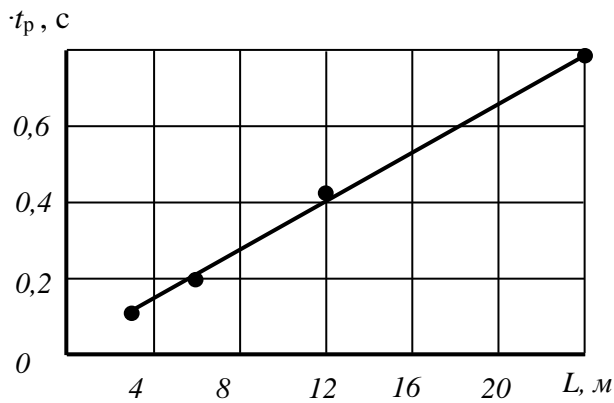


Рисунок 4 – Вплив довжини напірної гідролінії на тривалість перехідного процесу

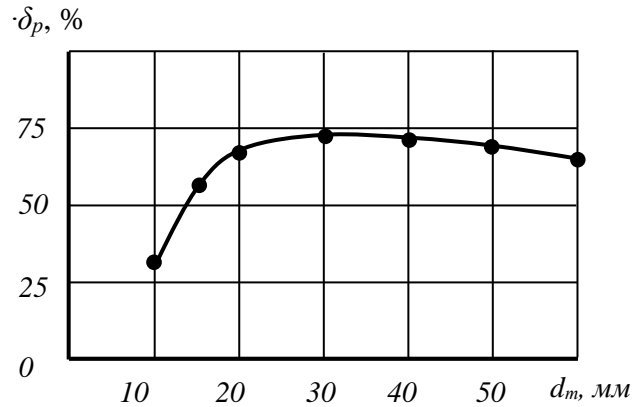


Рисунок 5 – Вплив внутрішнього діаметра трубопроводу напірної гідролінії на величину перегулювання по тиску

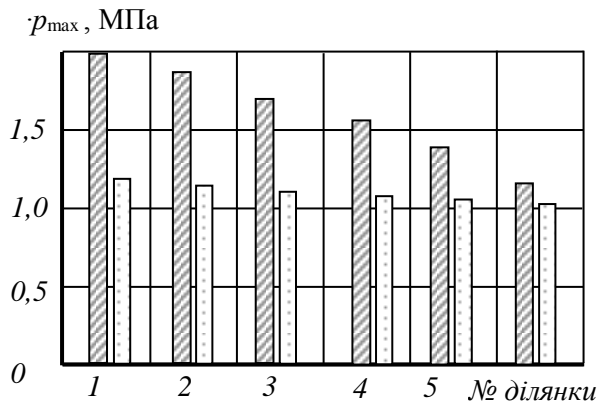


Рисунок 6 – Розподіл значень максимальних тиску  $\blacksquare$  і усталеного тиску  $\square$  по елементарних ділянках напірної гідролінії

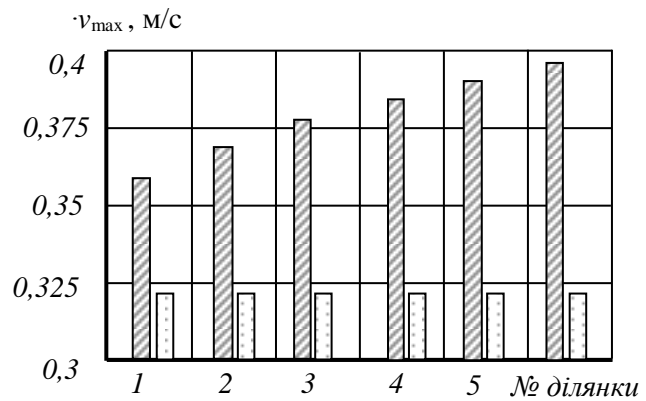


Рисунок 7 – Розподіл значень максимальної швидкості  $\blacksquare$  і усталеної швидкості  $\square$  по елементарних ділянках напірної гідролінії

## Література

1. Попов Д. Н. Нестационарные гидромеханические процессы / Д. Н. Попов – М. : Машиностроение, 1982. – 240 с.
2. Навроцкий К. Л. Комбинированный метод расчета волновых процессов в длинных гидрелиниях объёмных гидроприводов / К. Л. Навроцкий // Вестник машиностроения. – 1982. – № 2. – С. 42–49.
3. Тарко Л. М. Переходные процессы в гидравлических механизмах / Л. М. Тарко. – М. : Машиностроение, 1973. – 163 с.
4. Дусанюк Ж. П. Волновые процессы в гидросистемах с нелинейными упругими свойствами трубопровода : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03. – Винница, 1989. – 250 с.
5. Иванов М. І. Імітаційні дослідження хвильових процесів у довгих гідравлічних лініях гідросистем сільськогосподарських машин / М. І. Іванов, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк // Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 4(30). – С. 69–72.
6. Дусанюк Ж. П. Вплив параметрів довгої гідролінії на характеристики руху вихідної ланки гідроприводу / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 5. – С. 73–77.
7. Математична модель для імітаційного дослідження в середовищі MATLAB SIMULINK гідравлічного приводу поступального руху з довгою напірною гідролінією / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський, Т. В. Муравинець, С. О. Козачишен // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 3. – С. 108–115.