

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 62-822

О. В. Дерібо¹
Ж. П. Дусанюк¹
С. В. Репінський¹
О. В. Паславська¹
О. В. Черноволик¹

ІМІТАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ З ДОВГОЮ НАПІРНОЮ ГІДРОЛІНІЄЮ

¹Вінницький національний технічний університет

З використанням методу імітаційного моделювання в середовищі MATLAB Simulink проведені дослідження гідроприводу поступального руху з довгою напірною гідролінією для виявлення впливу параметрів приводу на характер хвильових процесів, спричинених зміною технологічного навантаження і зміною подачі насоса.

Ключові слова: гідропривід поступального руху, насос змінної продуктивності, довга напірна гідролінія, математична модель, обчислювальна структура, середовище MATLAB Simulink, параметри приводу, хвильові процеси.

Вступ і постановка задачі

В роботі [1, 2] показана актуальність дослідження хвильових процесів в гідроприводах поступального руху з довгою напірною гідролінією і запропонована математична модель такого приводу. На основі цієї моделі розроблена її структурна схема і обчислювальна структура для імітаційного моделювання в програмному середовищі MATLAB Simulink. Основними складовими гідроприводу, розглянутому в роботі [2], є насос постійної продуктивності, розподільник, гідроциліндр, запобіжний клапан, об'єкт керування. Деякі результати імітаційного дослідження такого приводу наведені в роботі [3]. У цій статті наводяться результати подальшого дослідження гідроприводу з довгою напірною гідролінією, але розглянутий гідропривід з насосом змінної продуктивності.

Метою роботи є виявлення впливу параметрів гідроприводу поступального руху з довгою напірною гідролінією на характер хвильових процесів, спричинених різкою зміною технологічного навантаження і різкою зміною подачі насоса.

Результати досліджень

Розрахункова схема гідроприводу з довгою напірною гідролінією і насосом змінної продуктивності показана на рис. 1.

Припущення, за яких розроблялась математична модель, і позначення в її рівняннях наведені в роботі [1].

Структурна схема математичної моделі досліджуваного гідроприводу показана на рис. 2. На основі цієї схеми математичної моделі розроблена обчислювальна структура для імітаційного моделювання в програмному середовищі MATLAB Simulink (рис. 3).

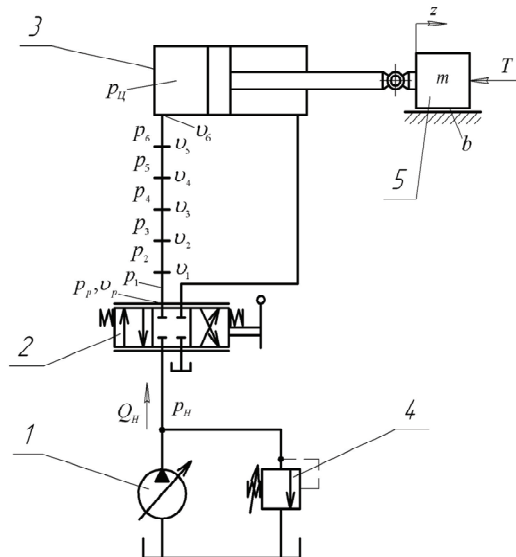


Рис. 1. Розрахункова схема гідроприводу з довгою напірною гідролінією і насосом змінної продуктивності

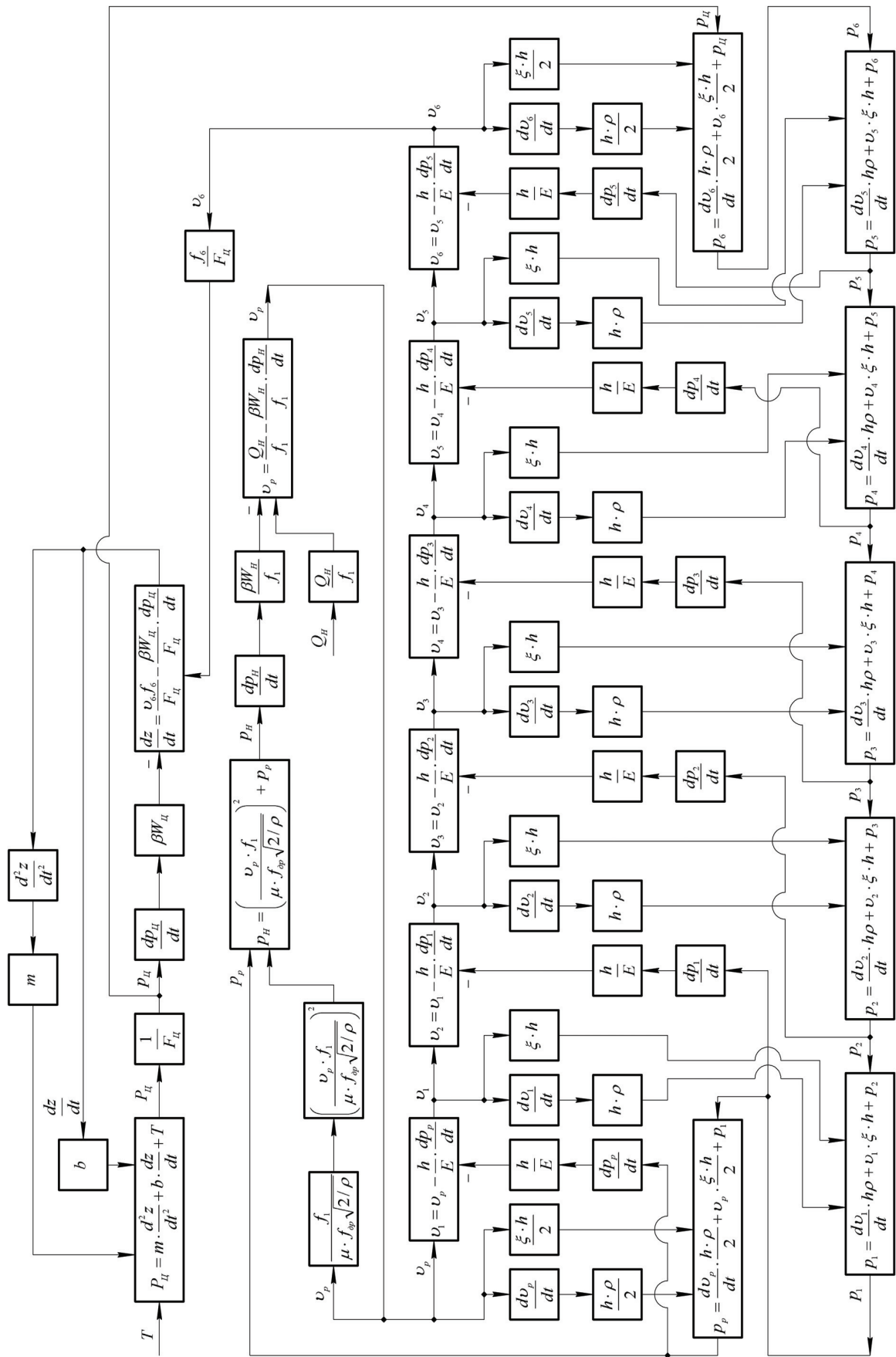


Рис. 2. Структурна схема математичної моделі гідропроводу поступального руху з довгою напірною гідролінією і насосом змінної продуктивності

Дослідження проводилось за таких незмінних параметрів гідропроводу: $W_H = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $W_{\text{ц}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $f_p = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $d_T = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $b = 2000 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}$; $F_{\text{ц}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; $\beta = 0,625 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{Н}$; $\delta_T = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\rho = 912 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\mu = 0,79$; $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3 = \xi_4 = \xi_5 = \xi_6 = \xi = 3 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot \text{с}$; $n = 6$.

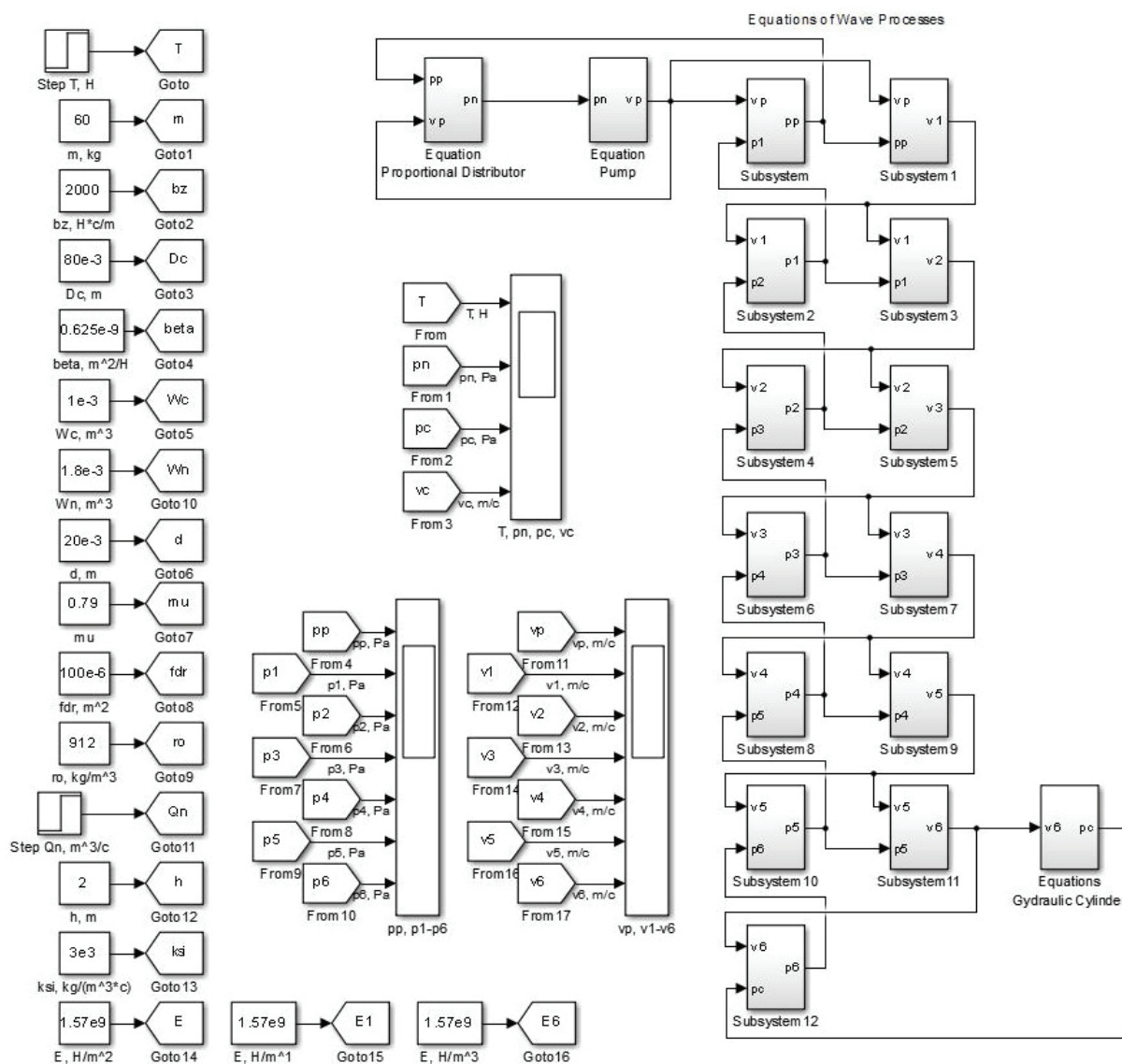


Рис. 3. Обчислювальна структура для імітаційного моделювання гідропроводу поступального руху з довгою напірною гідролінією і насосом змінної продуктивності в програмному середовищі MATLAB Simulink

Інші параметри варіювались з метою виявленням їх впливу на характер хвильових процесів.

На рис. 4 показані отримані імітаційним моделюванням приклади графіків часових характеристик хвильових процесів у напірній магістралі гідропроводу. Хвильові процеси, в цьому випадку, спричинені збуреннями у вигляді ступінчастої зміни технологічного навантаження T від 0 до 5 кН за сталої подачі насоса 60 л/хв (рис. 4) і ступінчастою зміною подачі насоса Q_H від 30 л/хв до 120 л/хв за сталою технологічного навантаження 5 кН (рис. 5). Порівняння графіків показує, що тривалість хвильового процесу і частота коливань не залежать від характеру збурення (ступінчастої зміни T чи Q_H).

Діаграма розподілу максимальних і усталених значень тиску по ділянках напірної гідролінії показана на рис. 6. Хвильовий процес, у цьому випадку, спричинявся ступінчастою зміною технологічного навантаження T від 0 до 5 кН. З діаграми випливає, що найбільший тиск виникає на першій ділянці напірної гідролінії, тобто на виході з розподільника. З наближенням до гідроциліндра перерегулювання за тиском помітно зменшується. Що стосується розподілу коливань швидкості робочої рідини в напірній гідролінії (рис. 7), то тут навпаки — найбільші відхилення значень швидкості рідини від усталеного спостерігаються в кінці гідролінії, тобто перед гідроциліндром.

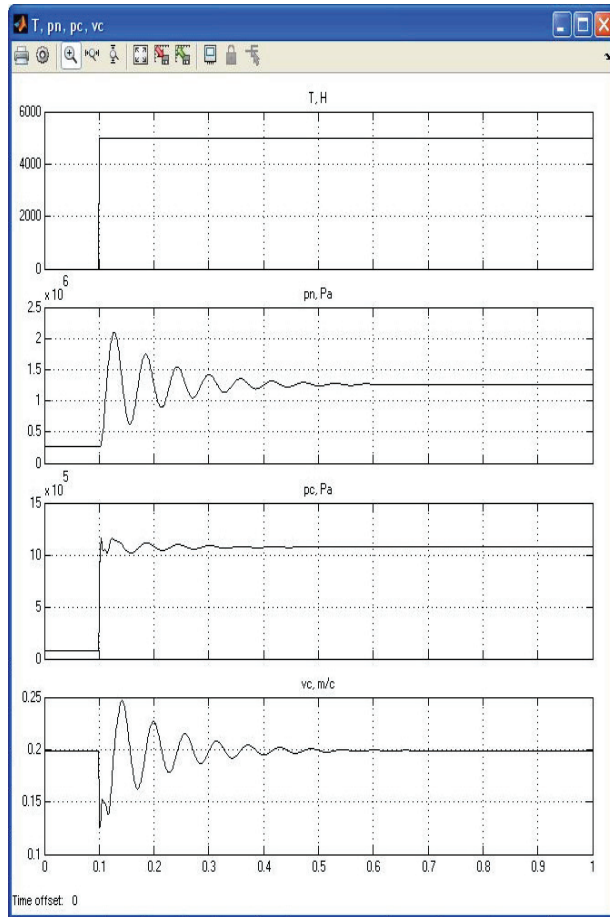


Рис. 4. Перехідний процес, спричинений ступінчастою зміною технологічного навантаження T від 0 до 5 кН зверху вниз: T — технологічне навантаження; p_n — тиск на виході насоса; $p_{ц}$ — тиск в гідроциліндрі; v — швидкість руху об'єкта керування

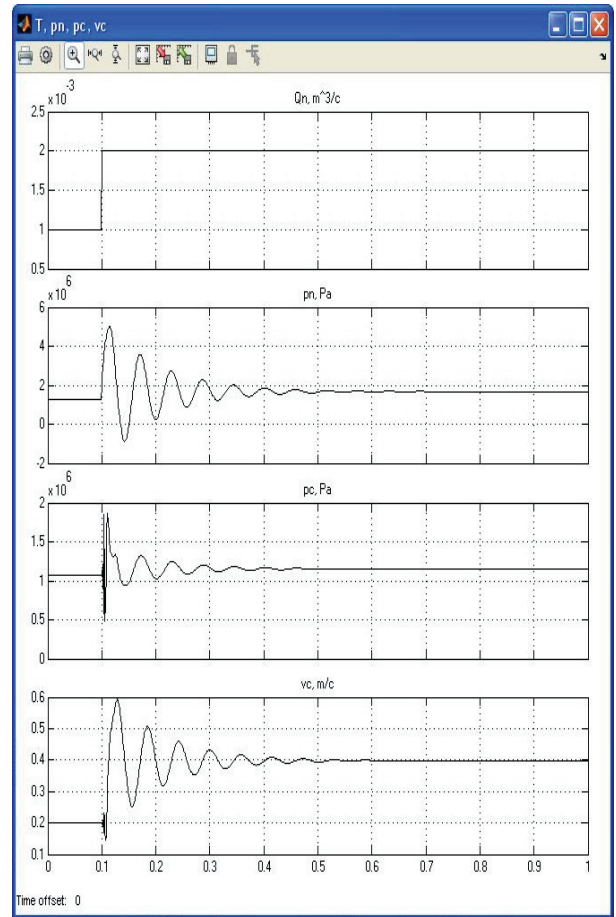


Рис. 5. Перехідний процес, спричинений ступінчастою зміною подачі насоса від 30 л/хв до 120 л/хв зверху вниз: Q_n — подача насоса; p_n — тиск на виході насоса; $p_{ц}$ — тиск в гідроциліндрі; v — швидкість руху об'єкта керування

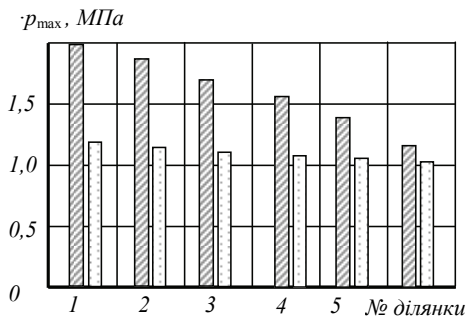


Рис. 6. Розподіл значень \square — максимального тиску; \square — усталеного тиску по елементарних ділянках напірної гідролінії

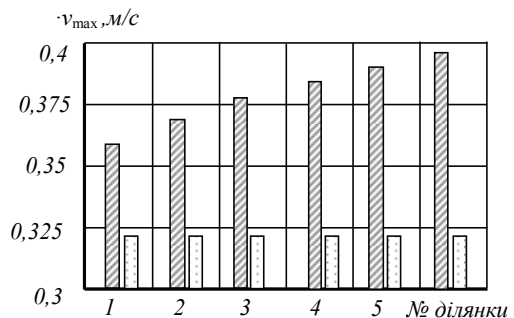


Рис. 7. Розподіл значень \square — максимальної швидкості рідини; \square — усталеної швидкості рідини по елементарних ділянках напірної гідролінії

Досліджувався також вплив довжини напірної гідролінії на тривалість хвилових процесів (рис. 8) і частоту коливань тиску і швидкості руху рідини (рис. 9). З цих графіків випливає, що тривалість хвилового процесу (час регулювання t_p) практично прямо пропорційно збільшується зі збільшенням довжини напірної гідролінії. Частота коливань тиску і швидкості руху рідини у напірній гідролінії також суттєво залежить від її довжини, а саме — зі збільшенням довжини гідролінії частота коливань в хвиловому процесі зменшується.

В гідроприводах приведений модуль пружності E гідролінії може змінюватись, наприклад, за рахунок використання гнучких рукавів високого тиску (РВТ). Тому одним з етапів роботи був аналіз впливу цього параметра на характеристики хвилових процесів. На рис. 10 і рис. 11 показані графіки залежностей впливу приведенного модуля пружності на тривалість хвилових процесів і частоту коливань тиску і швидкості руху рідини відповідно. Очевидно, що збільшення приведенно-

го модуля пружності зменшує тривалість хвильового процесу і збільшує частоту коливань тиску і швидкості руху рідини у напірній гідролінії.

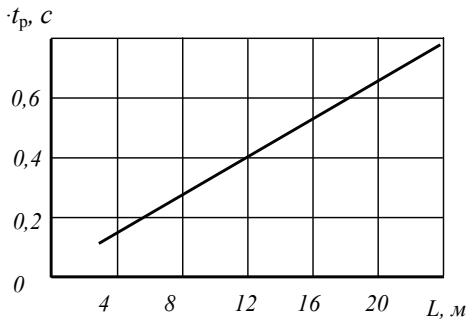


Рис. 8. Вплив довжини L напірної гідролінії на тривалість перехідного процесу

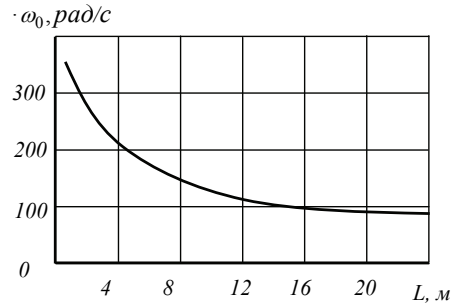


Рис. 9. Вплив довжини L напірної гідролінії на частоту коливань тиску і швидкості рідини

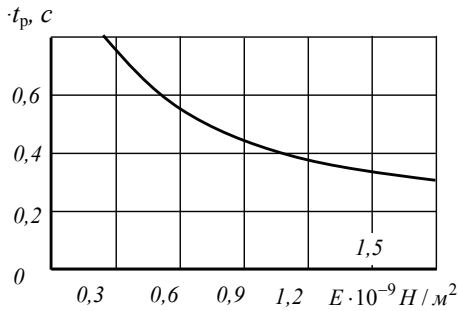


Рис. 10. Вплив приведенного модуля пружності E напірної гідролінії на тривалість перехідного процесу ($L = 12$ м)

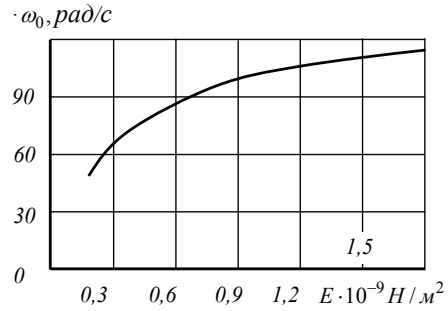


Рис. 11. Вплив приведенного модуля пружності E напірної гідролінії на частоту коливань тиску і швидкості рідини

Розглядався також вплив величини усталеного технологічного навантаження T на характеристики хвильових процесів. На рис. 12 показаний графік залежності максимальної амплітуди коливань тиску на виході насоса від величини технологічного навантаження T . У цьому імітаційному експерименті перехідний процес спричинявся ступінчастою зміною подачі насоса від 20 л/хв до 80 л/хв. З графіка видно, що величина технологічного навантаження не впливає на максимальну амплітуду коливань тиску. На рис. 13 показаний графік залежності максимальної амплітуди коливань швидкості робочої рідини в кінцевій ділянці гідролінії від величини технологічного навантаження T . Очевидно, що величина технологічного навантаження не впливає і на максимальну амплітуду коливань швидкості робочої рідини.

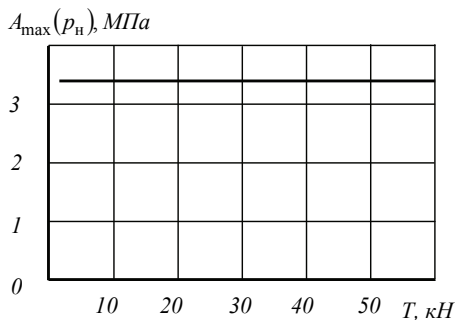


Рис. 12. Вплив величини технологічного навантаження T на максимальну амплітуду коливань тиску на виході насоса (перехідний процес, спричинений ступінчастою зміною подачі насоса від 20 до 80 л/хв)

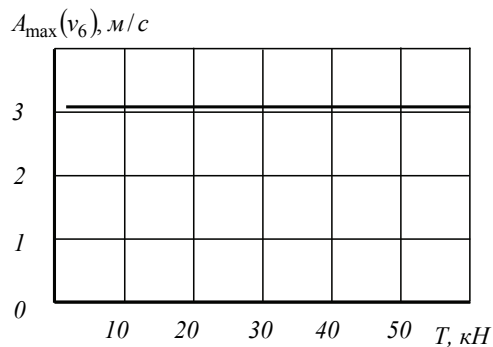


Рис. 13. Вплив величини технологічного навантаження T на максимальну амплітуду коливань швидкості руху робочої рідини на виході напірної гідролінії (перехідний процес, спричинений ступінчастою зміною подачі насоса від 20 до 80 л/хв)

Проведені дослідження впливу величини стрибка технологічного навантаження на максимальну амплітуду коливань тиску на виході насоса $A_{\max}(p_n)$. В реальній машині такий стрибок може виникати, коли робочий орган, наприклад ківш екскаватора, вривається в ґрунт. В імітаційному

експерименті нижнє граничне значення технологічного навантаження становило 0 кН. Верхнє граничне значення змінювалось від 2,5 кН до 60 кН. Графік отриманої залежності показано на рис. 14. З графіка видно, що величина $A_{\max}(p_n)$ прямо пропорційна величині стрибка ΔT технологічного навантаження. Досліджувався також вплив величини стрибка ΔT технологічного навантаження на максимальну амплітуду коливань швидкості робочої рідини в кінцевій ділянці гідролінії. Графік отриманої залежності показано на рис. 15. Очевидно, що максимальна амплітуда коливань швидкості робочої рідини також прямо пропорційно залежить від величини стрибка ΔT технологічного навантаження.

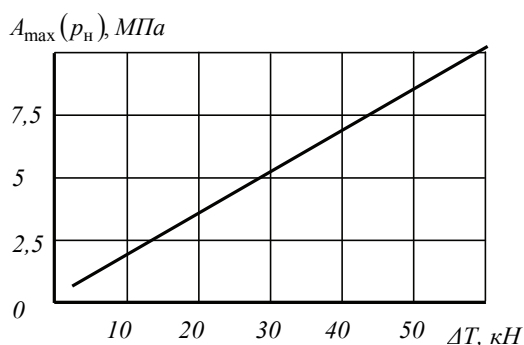


Рис. 14. Вплив величини стрибка технологічного навантаження ΔT на максимальну амплітуду коливань тиску на виході насоса

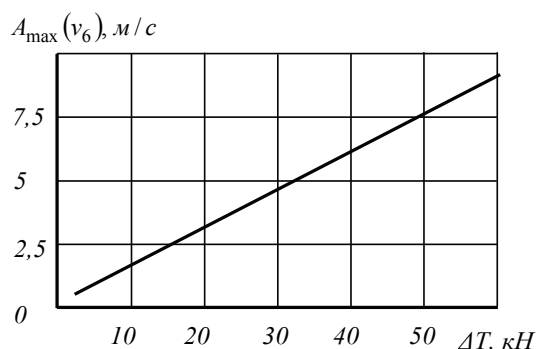


Рис. 15. Вплив величини стрибка технологічного навантаження ΔT на максимальну амплітуду коливань швидкості руху робочої рідини на виході напірної гідролінії

Проведені дослідження впливу величини стрибка подачі насоса ΔQ_n на максимальну амплітуду коливань тиску на виході насоса $A_{\max}(p_n)$ і на максимальну амплітуду коливань швидкості робочої рідини в кінцевій ділянці гідро лінії. Нижнє граничне значення подачі насоса складало 20 л/хв. Верхнє граничне значення змінювалось від 30 л/хв до 80 л/хв. З графіка (рис. 16) видно, що величина $A_{\max}(p_n)$ прямо пропорційна величині стрибка ΔQ_n подачі насоса. Максимальна амплітуда коливань швидкості робочої рідини також прямо пропорційно залежить від величини стрибка подачі насоса (рис. 17).

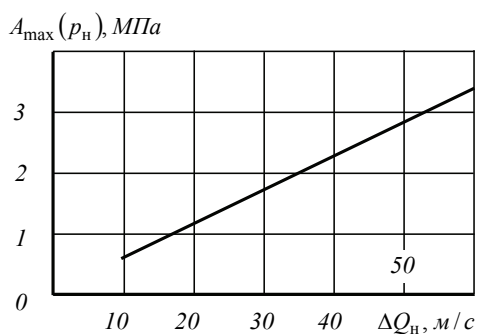


Рис. 16. Вплив величини стрибка подачі насоса ΔQ_n на максимальну амплітуду тиску на виході насоса (перехідний процес, спричинений ступінчастою зміною подачі насоса)

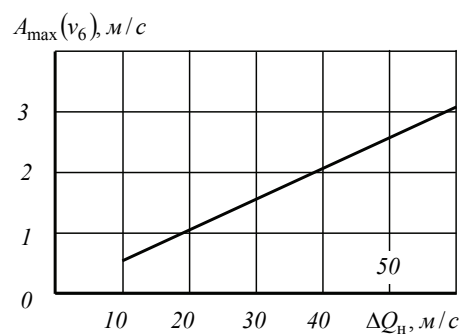


Рис. 17. Вплив величини стрибка подачі насоса ΔQ_n на максимальну амплітуду швидкості робочої рідини на виході напірної гідролінії (перехідний процес, спричинений ступінчастою зміною подачі насоса)

Висновки

1. З використанням методу імітаційного моделювання в середовищі MATLAB Simulink проведені дослідження гідроприводу поступального руху з довгою напірною гідролінією для виявлення впливу його параметрів на характер хвильових процесів, спричинених різкою зміною технологічного навантаження і різкою зміною подачі насоса.

2. Встановлено, що найбільший тиск виникає на початку напірної гідролінії, тобто на виході з розподільника. З наближенням до гідроциліндра перерегулювання за тиском помітно зменшується. Найбільші відхилення значень швидкості рідини від усталеного спостерігаються в кінці гідролінії, тобто перед гідроциліндром.

3. Тривалість хвильового процесу практично прямо пропорційно збільшується зі збільшенням довжини напірної гідролінії. Частота коливань тиску і швидкості руху рідини у напірній гідролінії також суттєво залежить від її довжини, а саме — зі збільшенням довжини гідролінії частота коливань в хвильовому процесі зменшується.

4. Збільшення приведенного модуля пружності зменшує тривалість хвильового процесу і збільшує частоту коливань тиску і швидкості руху рідини у напірній гідролінії.

5. Величина сталого технологічного навантаження в хвильовому процесі не впливає на максимальну амплітуду коливань тиску і на максимальну амплітуду коливань швидкості робочої рідини.

6. Максимальна амплітуда коливань тиску і максимальна амплітуда коливань швидкості робочої рідини прямо пропорційні величині стрибка технологічного навантаження.

7. Максимальна амплітуда коливань тиску і максимальна амплітуда коливань швидкості робочої рідини прямо пропорційні величині стрибка подачі на виході насоса.

8. В подальших дослідженнях передбачається дослідити вплив коливальних змін подачі насоса і технологічного навантаження з точки зору можливості виникнення резонансних явищ в напірній гідролінії і у приводі в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дусанюк Ж. П. Волновые процессы в гидросистемах с нелинейными упругими свойствами трубопровода : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03. / Ж. П. Дусанюк. — Вінниця, 1989. — 250 с.
2. 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 [та ін.] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2016. — № 3. — С. 108—115.
3. Моделювання гідропроводу поступального руху з довгою напірною гідролінією / Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський, О. В. Черноволик // Гідро- та пневмоприводи машин : II Міжнар. наук.-техн. конф. : тези доп., м. Вінниця, 15—16 листопада 2016 р. — Вінниця : ВНТУ, 2016. — С. 156—159.

Рекомендована кафедрою технологій та автоматизації машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.12.2016

Дерібо Олександр Володимирович — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: deriboov@ukr.net ;

Дусанюк Жанна Павлівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Репінський Сергій Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Паславська Оксана Віталіївна — старший лаборант кафедри технологій та автоматизації машинобудування;

Черноволик Олена Володимирівна — студентка факультету комп'ютерних систем управління та автоматики.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Deribo¹
Z. P. Dusaniuk¹
S. V. Repinskyi¹
O. V. Paslavska¹
O. V. Chernovolyk¹

Imitation Research of Hydraulic Occasion of Forward Motion with Long Pressure Hydroline

¹Vinnitsia National Technical University

Using the simulation technique in the environment of MATLAB Simulink there has been undertaken the study of hydraulic drive of forward motion with a long pressure hydroline for the exposure of influence of parameters of occasion on character of the wave processes caused by the step change of the technological loading and step change of serve of pump.

Keywords: hydraulic drive of forward motion, pump of variable-stroke, long pressure hydroline, mathematical model, calculable structure, environment of MATLAB Simulink, parameters of drive, wave processes.

Deribo Oleksandr V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Technologies and Automation of Machine-Building, e-mail: deriboov@ukr.net;

Dusaniuk Zhanna P. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Technologies and Automation of Machine-Building;

Repinskyi Serhii V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Technologies and Automation of Machine-Building;

Paslavska Oksana V. — Senior Laboratory Assistant of the Chair of Technologies and Automation of Machine-Building;

Chernovolik Olena V. — Student of the Faculty of Computer Systems and Automation

А. В. Дерибо¹
Ж. П. Дусанюк¹
С. В. Репинский¹
О. В. Паславская¹
Е. В. Черноволик¹

Имитационное исследование гидравлического привода поступательного движения с длинной напорной гидролинией

¹Вінницький національний технічний університет

С использованием метода имитационного моделирования в среде MATLAB Simulink исследован гидропривод поступательного движения с длинной напорной гидролинией для выявления влияния параметров привода на характер волновых процессов, вызванных изменением технологической нагрузки и изменением подачи насоса.

Ключевые слова: гидропривод поступательного движения, насос переменной производительности, длинная напорная гидролиния, математическая модель, вычислительная структура, среда MATLAB Simulink, параметры привода, волновые процессы.

Дерибо Александр Владимирович — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры технологий и автоматизации машиностроения, e-mail: deriboov@ukr.net ;

Дусанюк Жанна Павловна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения;

Репинский Сергей Владимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения;

Паславская Оксана Витальевна — старший лаборант кафедры технологий и автоматизации машиностроения;

Черноволик Елена Владимировна — студент факультета компьютерных систем управления и автоматизации