

УДК.635.64:631.55

## ДИНАМІКА РОЗВОРОТУ ГРЕЙФЕРА

Крилов В.В., к.т.н.,

Коломієць С. М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.(0619) 42-24-36, 42-05-70

**Анотація** – у статті наведено аналіз стану та результати досліджень динаміки розвороту грейфера при проведенні навантажувально-розвантажувальних робіт.

**Ключові слова** – динаміка, грейфер, вантаж, розворот, гідропривод, неповноповоротний ротатор, диференціальне рівняння.

*Постановка проблеми.* Від якості роботи механізму повороту грейфера у значній мірі залежить величина простою транспорта під навантаженням та розвантаженням. Окрім того, механізм повороту відносно вертикальної осі повинен забезпечувати, у разі потреби, чітке фіксоване положення захвату вантажу над транспортним засобом. Тому дослідження динаміки розвороту грейфера неповноповоротним ротатором є актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз наукових розробок свідчить про те, що на даний час немає достовірних теоретичних відомостей, підтверджених експериментальними дослідженнями, які б дозволяли обґрунтовано вибирати параметри елементів гідропривода неповноповоротного ротатора.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є встановлення залежностей для обґрунтування параметрів елементів гідропривода неповноповоротного ротатора.

*Основна частина.* Гідравлічний привод являє собою складну динамічну систему, в якій проявляються як лінійні, так і нелінійні фактори.

Диференціальне рівняння руху привода у загальному вигляді - нелінійне, отож для спрощення динамічних досліджень звертаються до лінійзації цих рівнянь. У якості розрахункової схеми розглянемо елементарну лінійну модель гідропередачі, що складається з насоса постійного тиску та нерегульованого гідродвигуна (неповноповоротного ротатора) з прикладеним до нього навантаженням [2].

Роботу гідропривода можна охарактеризувати диференціальними рівняннями руху та рівнянням витрат, складеним

за умови нерозривності потоку рідини.

Рівняння витрат робочої рідини записуємо у вигляді

$$\dot{\varphi}_1 = \frac{1}{q_{дв}} \left( q_{нс} \frac{n}{60} - \sigma \rho_n - \beta V \dot{p}_n \right), \quad (1)$$

де  $\dot{\varphi}_1$  – кутова швидкість повороту вала ротатора;

$q_{дв}$  – питомий об'єм ротатора;

$q_{нс}$  – об'ємна стала гідронасоса;

$n$  – частота обертання вала гідронасоса;

$\sigma$  – коефіцієнт витоків у нагнітальній площині ротатора;

$\rho_n$  – тиск нагнітання;

$\beta$  – приведений коефіцієнт відносної об'ємної деформації гідросистеми ротатора;

$V$  – об'єм порожнин гідросистеми ротатора, що знаходяться під тиском.

При складанні диференціальних рівнянь руху уявимо механізм повороту грейфера (ротатора) та грейфер у вигляді приведених динамічних схем. При цьому, систему розглядаємо як таку, що складається з двох мас, з'єднаних пружною ланкою.

Неповноповоротні ротатори мають великі внутрішні перетікання робочої рідини з порожнини нагнітання до порожнини зливу, що забезпечує значне демпфірування коливань тиску. Тому в розрахункову схему необхідно вводити демпфіруючий елемент між приведеними масами.

Беручи до уваги все вище згадане, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_1 + k_\alpha \dot{\varphi}_1 + c_\alpha (\varphi_1 - \varphi_2) = M_{дв} - M_c; & (2) \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 - k_\alpha (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c_\alpha (\varphi_1 - \varphi_2) = -M_{аер} - M_c; & (3) \\ \dot{\varphi}_1 = \frac{1}{q_{дв}} \left( q_{нс} \frac{n}{60} - \sigma \rho_n - \beta V \dot{p}_n \right), & (4) \end{cases}$$

де  $I_1$  – приведений момент інерції частин ротатора, що обертаються, і робочої рідини;

$I_2$  – приведений момент інерції розвертаємого вантажу і грейфера;

$\varphi_1$  – приведений кут повороту вала ротатора;

$\varphi_2$  – приведений кут повороту грейфера з вантажем;

$c_\alpha$  – жорсткість гідропривода і підвісу грейфера, приведена до вала ротатора;

$M_{дв}$  – рушійний момент ротатора;

$M_c$  – приведений момент статичних опорів;

$M_{\text{аер}}$  – приведений аеродинамічний момент опору.

Якщо тиск у зливній магістралі ротора дорівнює нулю, то

маємо

$$M_{\text{дв}} = u p_n, \quad (5)$$

де

$$u = \frac{b}{8}(D^2 - d^2),$$

де

$b$  – ширина пластини ротора;

$D$  і  $d$  – діаметри циліндра ротора і ротора ротора.

Підставимо рівняння (5) у рівняння (2) і визначимо  $p_n$  і  $\dot{p}_n$ .

Тоді система рівнянь (2) - (4) набуде вигляду:

$$\left\{ \begin{aligned} \beta V I_1 \varphi^{(111)} + (\sigma I_1 + \beta V k_\alpha) \ddot{\varphi}_1 + (q_{\text{дв}} u + \sigma k_\alpha + \beta V c_\alpha) \dot{\varphi}_1 + \sigma c_\alpha \varphi_1 - \\ - \beta V c_\alpha \dot{\varphi}_2 - \sigma c_\alpha \varphi_2 = q_{\text{нс}} u \frac{n}{60} - \sigma M_c; \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$I_2 \ddot{\varphi}_2 - k_\alpha (\varphi_1 - \varphi_2) - c_\alpha (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) = -M_{\text{аер}} - M_c. \quad (7)$$

Після перетворень рівнянь (6), (7) отримаємо диференціальне рівняння руху вала ротора

$$\varphi_1^{(V)} + M_1 \varphi_1^{(IV)} + N_1 \varphi_1^{(111)} + R_1 \ddot{\varphi}_1 + S_1 \dot{\varphi}_1 = T_1, \quad (8)$$

де

$$M_1 = \frac{C_1}{B_1} + \frac{c_\alpha}{k_\alpha} - \frac{I_2}{k_\alpha} \cdot \frac{1}{A_1 B_1};$$

$$N_1 = \frac{C_1}{B_1} \cdot \frac{c_\alpha}{k_\alpha} + \frac{D_1}{B_1} - \frac{1}{A_1 B_1};$$

$$R_1 = \frac{D_1}{A_1 B_1} \cdot \frac{c_\alpha}{k_\alpha} + \frac{E_1}{B_1} - \frac{1}{A_1 B_1} \cdot \frac{c_\alpha}{k_\alpha};$$

$$S_1 = \frac{E_1}{B_1} \cdot \frac{c_\alpha}{k_\alpha}; T_1 = -\frac{F_1}{B_1} \cdot \frac{c_\alpha}{k_\alpha};$$

$$A_1 = \frac{1}{c_\alpha (\sigma^2 I_2 + \beta^2 V^2 c_\alpha - k_\alpha \sigma \beta V)};$$

$$B_1 = I_1 I_2 \sigma \beta V;$$

$$C_1 = \sigma^2 I_1 I_2 + \beta V k_\alpha \sigma I_2 + \beta^2 V^2 c_\alpha I_1;$$

$$D_1 = (q_{\text{дв}} u + \sigma k_\alpha + \beta V c_\alpha) I_2 \sigma + \beta V c_\alpha (\sigma I_1 + \sigma I_2 + \beta V k_\alpha);$$

$$E_1 = (\sigma^2 I_2 + q_{\text{дв}} u \beta V + \beta^2 V^2 c_\alpha) c_\alpha;$$

$$F_1 = \left[ \sigma(2M_c + M_{\text{вер}}) - q_{\text{дв}} u \frac{n}{60} \right] \beta V c_\alpha.$$

Для розв'язку рівняння (8) маємо наступні початкові умови:

$$t = 0 \begin{cases} \varphi_1 = 0, \dot{\varphi}_1 = 0, \ddot{\varphi}_1 = 0, \varphi_1^{(111)} = \frac{q_{\text{нс}} u \frac{n}{60} - \sigma M_c}{\beta V I_1} = a_1; \\ \varphi_2 = 0, \dot{\varphi}_2 = 0, \ddot{\varphi}_2 = 0, \varphi_2^{(111)} = \frac{-q_{\text{нс}} u \frac{n}{60} + \sigma M_c}{\beta^2 V^2 I_1^2} = b_1. \end{cases}$$

Використовуючи операторний метод розв'язку диференціальних рівнянь, отримаємо

$$p(p^4 + M_1 p^3 + N_1 p^2 + R_1 p + S_1) \cdot \Phi(p) = \frac{T_1}{p} + a_1 p^2 + a_1 M_1 p + b_1 p;$$

$$\Phi(p) = \frac{T_1 + a_1 p^3 + (a_1 M_1 + b_1) p^2}{p^2(p^4 + M_1 p^3 + N_1 p^2 + R_1 p + S_1)} = \frac{Q(p)}{P(p)}. \quad (9)$$

Для знаходження розв'язку  $\varphi_1 = f(t)$  визначимо оригінал функції, що відповідає зображенню  $\Phi(p)$  [1]. Застосовуючи теорему розкладення, отримаємо

$$\Phi(p) = \frac{Q(p)}{P(p)} = \frac{\alpha_1}{p^2} + \frac{\beta}{p} + \frac{A_1}{p-p_1} + \frac{A_2}{p-p_2} + \frac{A_3}{p-p_3} + \frac{A_4}{p-p_4}, \quad (10)$$

де

$$\alpha_1 = p^2 \Phi(p_\gamma) \Big|_{\gamma=0} = \frac{T_1}{S_1};$$

$$\beta = \frac{d}{dp} \left[ p^2 \frac{Q(p_\gamma)}{P(p_\gamma)} \right] \Big|_{\gamma=0} = -\frac{T_1 R_1}{S_1^2};$$

$$A_i = \frac{Q(p_i)}{\dot{P}(p_i)}; \quad Q(p_i) = T_1 + a_1 p_i^3 + (a_1 M_1 + b_1) p_i^2;$$

$$\dot{P}(p_i) = 6p_i^5 + 5M_1 p_i^4 + 4N_1 p_i^3 + 3R_1 p_i^2 + 2S_1 p_i.$$

де  $p_i$  – корені характеристичного рівняння ( $i = 1, 2, 3, 4$ )

$$p^4 + M_1 p^3 + N_1 p^2 + R_1 p + S_1 = 0. \quad (11)$$

Для знаходження коренів характеристичного рівняння (11) використовуємо розв'язання Феррарі.

За таблицею основних формул операційного числення визначаємо оригінал функції

$$\varphi_1 = \beta + \alpha_1 t + A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + A_3 e^{p_3 t} + A_4 e^{p_4 t}. \quad (12)$$

Звідси

$$\omega = \dot{\varphi}_1 = \alpha_1 + A_1 p_1 e^{p_1 t} + A_2 p_2 e^{p_2 t} + A_3 p_3 e^{p_3 t} + A_4 p_4 e^{p_4 t}; \quad (13)$$

$$\varepsilon = \ddot{\varphi}_1 = A_1 p_1^2 e^{p_1 t} + A_2 p_2^2 e^{p_2 t} + A_3 p_3^2 e^{p_3 t} + A_4 p_4^2 e^{p_4 t}. \quad (14)$$

Для підтвердження теоретичних залежностей проведені експериментальні дослідження неповноповоротного ротатора. На експериментальному стенді неповноповоротним ротатором розвертався грейфер з моментом інерції  $I_2 = 1052 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Для реєстрації параметрів розвороту вантажу використовували потенціометричні давачі кутових переміщень та тензометричний давач кутових прискорень (аксельрометр). При обробці осцилограм процесу розвороту грейфера отримано залежності  $\varphi_1 = f(t)$  та  $\omega = f(t)$ . Для зіставлення результатів досліджень (рис. 1) теоретичні значення  $\varphi_1$  та  $\omega$  визначали за умови:

$$I_1 = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$c_a = 912,4 \text{ Нм/рад};$$

$$k_a = 6,67 \cdot 10^{-7} \text{ Нмс/рад};$$

$$q_{nc} = 31,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{об};$$

$$V = 1,185 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$M_{acc} = 375 \text{ Нм};$$

$$I_2 = 1052 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

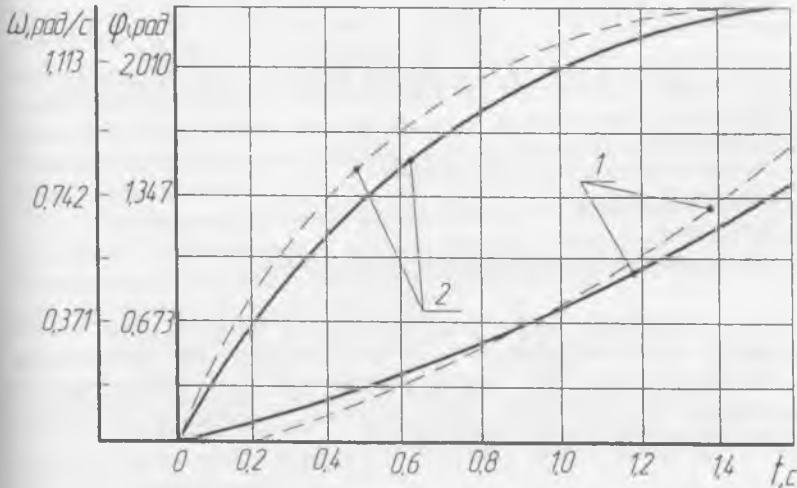
$$\sigma = 33,76 \cdot 10^{12} \text{ м}^3/\text{Н};$$

$$q_{lv} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{рад};$$

$$u = 132 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$M_c = 52,5 \text{ Нм};$$

$$\beta = 7,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{Н}.$$



1 – кут повороту вала ротатора; 2 – кутова швидкість вала ротатора;  
 - - - - - теоретичні дані; ————— експериментальні дані

Рис. 1. Зіставлення теоретичних і експериментальних даних

*Висновки.* Отримані теоретичні залежності, підтверджені експериментальними дослідженнями, дозволяють обґрунтовано вибирати параметри елементів гідропривода неповноповоротного ротатора.

#### Література

- 1 *Абраманович И.Г.* Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости. – М.:Наука, 1965.– 392с.
- 2 *Лебедев Н.И.* Гидропривод машин лесной промышленности.– М.:Лесн. пром-сть, 1978. – 303с.

### THE DYNAMICS OF GREYFER'S TURNING

V. Krylov, S. Kolomyiets

#### *Summary*

The analysis of the state and results of researches of the dynamics of greyfer at a turn during conducting of loading – unloading works is resulted in the article.

УДК 621.311:631.11

### СКЛАДОВІ ЕФЕКТИВНОСТІ У ПРОЕКТАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Сидорчук О.

*Українська академія аграрних наук*

Боярчук В.,

Татомир А.

*Львівський державний аграрний університет*

*Анотація* – у статті проаналізовано складові ефективності у проекті енергозабезпечення сільськогосподарських підприємств із використанням ВЕС малої потужності. Побудовано критерій оптимізації параметрів ВЕС. Розглянуто ієрархію зацікавлених сторін проекту енергозабезпечення.

*Ключові слова* – енергозабезпечення, вітрова енергія, сільськогосподарське підприємство, управління, ефективність.