

УДК 622.232

В.М.Стасюк

Луцький національний технічний університет

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЕРЕДУДАРНОЇ ФАЗИ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ПРИВОДІВ ІЗ ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМ КЕРУВАННЯМ

*Наведено результати досліджень передударної фази робочого циклу приводів із пневмомеханічними системами керування.*

**Постановка проблеми.** Силові та кінетичні характеристики приводів із пневмомеханічним керуванням остаточно формуються на передударній фазі їх робочого циклу. Некоректний підхід до вибору розмірів конструктивних параметрів приводу, задіяних на цій фазі, який зазвичай здійснюється за різними узагальненими формулами, приводить до складності (або й неможливості) отримання заданих замовником кінетичних і силових характеристик ударної машини. Тому дослідження передударної фази робочого циклу приводів із пневмомеханічним керуванням з метою визначення взаємозв'язку між їх конструктивними параметрами та величинами отримуваних вихідних характеристик ударної машини є актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень.** Окремі результати досліджень завершальних фаз пневматичних приводів із комбінованими системами керування наведені в роботах [1,2]. Однак досліджень із врахуванням всього комплексу конструктивних параметрів приводів, задіяних на цих фазах, у даних роботах не проведено.

**Формулювання цілі статті** – дослідити передударну фазу приводів із пневмомеханічним керуванням із метою встановлення залежності силових і кінетичних характеристик ударних машин із цими приводами від розмірів їх конструктивних параметрів, задіяних на цій фазі (як вирішальній в плані забезпечення отримання заданих замовником величин вихідних показників).

**Основна частина.** Передударна фаза приводів із пневмомеханічними системами керування триває з моменту закриття випускних отворів камери холостого ходу до моменту нанесення поршнем удару по хвостовику робочого інструмента. Її можна розглядати у вигляді сукупності із декількох періодів, які визначаються положенням рухомого поршня відносно окремих конструктивних елементів приводу. Наведемо основні залежності, отримані за результатами проведених теоретичних досліджень, які характеризують кожен із названих періодів.

Для першого з них (при відкритих клапанах камери робочого ходу  $B$  й замкненій камері холостого ходу  $A$ ) рух поршня описується рівнянням:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_{B1} F - p_{A1} F, \quad (1)$$

де  $m$ ,  $F$  – відповідно маса поршня та площа поперечного перерізу його суцільноциліндричної частини;  $p_{B1}$ ,  $p_{A1}$  – відповідно тиски у камері робочого ходу  $B$  та камері холостого ходу  $A$ .

Для даного періоду середні величини тисків  $p_{B1}$ ,  $p_{A1}$  у камерах:

$$p_{B1} = 0,95 p_M ;$$

$$p_{A1} = 0,5 p_a \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_4}{x_{02} + s - l_{3z}} \right)^{-k} \right],$$

де  $p_a$  – атмосферний тиск;

$x_{02}$  - довжина компенсаційної камери холостого ходу;

$s$  - величина ходу поршня;

$l_{3z}$  - довжина ходу завершального гальмування поршня в компенсаційній камері робочого ходу;

$k$  – коефіцієнт адіабати.

Тривалість  $t_f$  цього періоду:

$$t_I = \sqrt{\frac{2ml_{nz}}{0,95p_M F - 0,5p_a F \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{nz}}{x_{02} + s - l_{3z}} \right)^{-k} \right]}}, \quad (2)$$

де  $l_{nz}$  - довжина ходу попереднього гальмування поршня в компенсційній камері робочого ходу.  
Для другого періоду (при обох замкнених робочих камерах) рух поршня описується рівнянням:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = p_{БИ} F - p_{АII} F. \quad (3)$$

Тиски в робочих камерах визначатимуться за виразами:

$$p_{БИ} = 0,45p_M \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{01} + l_{3z} + l_{nz}} \right)^{-k} \right],$$

$$p_{АII} = 0,5p_a \left( 1 - \frac{l_{nz}}{x_{02} + s - l_{3z}} \right)^{-k} \cdot \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{02} + s - l_{3z} - l_{nz}} \right)^{-k} \right],$$

де  $l_{\epsilon 1}$  - відстань між вісями випускних отворів та впускних клапанів камери робочого ходу;  
 $x_{02}$  - довжина компенсційної камери робочого ходу.

Підставивши отримані для тисків вирази в рівняння (3), отримуємо:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = 0,45p_M F \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{01} + l_{3z} + l_{nz}} \right)^{-k} \right] - 0,5p_a F \left( 1 - \frac{l_{nz}}{x_{02} + s - l_{3z}} \right)^{-k} \times \\ \times \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{02} + s - l_{3z} - l_{nz}} \right)^{-k} \right]. \quad (4)$$

Тривалість  $t_{II}$  другого періоду:

$$t_{II} = \left\{ 2ml_{\epsilon 1} / \left[ 0,45p_M F \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{01} + l_{3z} + l_{nz}} \right)^{-k} \right] - 0,5p_a F \left( 1 - \frac{l_{nz}}{x_{02} + s - l_{3z}} \right)^{-k} - \right. \right. \\ \left. \left. - 0,5p_a F \left( 1 - \frac{l_{nz}}{x_{02} + s - l_{3z}} \right)^{-k} \cdot \left( 1 - \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{02} + s - l_{3z} - l_{nz}} \right)^{-k} \right] \right\}^{0,5}. \quad (5)$$

Наступний період характеризується атмосферним тиском у камері робочого ходу  $B$  та продовженням стиснення повітря у камері холостого ходу  $A$ . Переміщення поршня описується рівнянням:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = p_{БИИ} F - p_{АIII} F. \quad (6)$$

Тиски в робочих камерах визначаються для даного періоду:

$$p_{БИИ} = 0,45p_M \left( 1 + \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{01} + l_{3z} + l_{nz}} \right)^{-k} + 0,5p_a;$$

$$p_{АIII} = 0,5p_a \left( 1 - \frac{l_{nz}}{x_{02} + s - l_{3z}} \right)^{-k} \cdot \left( 1 - \frac{l_{\epsilon 1}}{x_{02} + s - l_{3z} - l_{nz}} \right)^{-k} \cdot \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{\epsilon 2}}{x_{02} + s - l_{3z} - l_{nz} - l_{\epsilon 1}} \right)^{-k} \right],$$

де  $l_{\epsilon 2}$  - відстань між вісями випускних отворів і впускних клапанів камери холостого ходу.

Підставивши отримані для тисків вирази в рівняння (6), отримуємо:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F \left[ 0,45 p_M \left( 1 + \frac{l_{e1}}{x_{01} + l_{3e} + l_{n2}} \right)^{-k} + 0,5 p_a \right] - 0,5 p_a F \left( 1 - \frac{l_{n2}}{x_{02} + s - l_{3e}} \right)^{-k} \times \left( 1 - \frac{l_{e1}}{x_{02} + s - l_{3e} - l_{n2}} \right)^{-k} \cdot \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{e2}}{x_{02} + s - l_{3e} - l_{n2} - l_{e1}} \right)^{-k} \right]. \quad (7)$$

Тривалість III-го періоду:

$$t_{III} = \sqrt{\frac{2ml_{e2}}{P_{3MIII}}},$$

де  $P_{3MIII}$  - величина змушувальної сили на протязі цього періоду.

На протязі завершального (IV-го) періоду передударної фази при відкритій камері B ( $p_{BIV} = p_a$ ) стиснене магістральне повітря наповнює камеру A, тиск в якій:

$$p_{AIV} = \frac{p_a}{4} \left( 1 - \frac{l_{n2}}{x_{02} + s - l_{3e}} \right)^{-k} \cdot \left( 1 - \frac{l_{e1}}{x_{02} + s - l_{3e} - l_{n2}} \right)^{-k} \cdot \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{e2}}{x_{02} + s - l_{3e} - l_{n2} - l_{e1}} \right)^{-k} \right] + 0,5 p_M.$$

При цьому особливу увагу варто приділяти вибору величини ефективної площі прохідних перерізів  $f_{en,нідкр}^e$  впускних клапанних елементів, задіяних на даному періоді. Оскільки режим надходження повітря підкритичний, то для визначення цього параметра доцільно використовувати формулу [1]:

$$f_{en,нідкр}^e = \frac{(1 - \sigma_a) e^{-\frac{t}{\tau_0 V}}}{kK\varphi(\sigma)\tau_0\sigma_{Hk}\sqrt{RT_M}} \cdot \left[ \frac{(\sigma_{Hk} - \sigma_a)\varphi(\sigma_*)}{\varphi(\sigma_{Hk})} + \frac{\sigma_a}{\sigma_{Hk}} \psi_1(\sigma_{Hk}) \right],$$

де  $\sigma_a = p_a / p_M$ ;  $t$  - стала пневмоінерційної ланки ( $t = V / RT_M \alpha$ , де  $V$  - об'єм камери наповнення;  $R$  - постійна газова стала;  $T_M$  - температура магістрального повітря;  $\alpha$  - провідність опору, виражає залежність масової витрати повітря від перепаду тисків на конструктивному елементі);  $\tau_0 = \frac{\tau}{V}$  - постійна часу наповнення одиничного об'єму ( $\tau$  - постійна часу наповнення камери);

$\varphi(\sigma_*) = \sqrt{\frac{2}{\sigma_*^k} - \sigma_*^{\frac{k+1}{k}}}$  - функція витрати при критичному співвідношенні тисків;  $\sigma_* = \frac{p_*}{p_M}$  - кри-

тичне співвідношення тисків при наповненні камери ( $p_*$  - критичний тиск);  $\varphi(\sigma) = \sqrt{\frac{2}{\sigma^k} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}$  - функція витрати при наповненні камери;  $\varphi(\sigma_{Hk})$  - функція витрат по некоректованій експоненті ( $\sigma_{Hk}$  - безрозмірний тиск у камері наповнення);  $\psi_1(\sigma_{Hk})$  - функція співвідношення тисків при наповненні камери.

**Висновок.** Таким чином, наведені залежності дають можливість детально аналізувати динаміку передударної фази робочого циклу приводів із пневмомеханічним керуванням й забезпечувати отримання потрібних тисків у робочих камерах (які у свою чергу визначають величини силових і кінетичних характеристик ударної машини) шляхом варіювання розмірами конструктивних параметрів приводу, а також впливати на час протікання фази в цілому та її окремих періодів зокрема, тобто в цілому й на тривалість протікання робочого циклу, а, значить, і на його частотні характеристики.

1. Стасюк В.М. Пневматичний привод виконавчих органів ударних машин із механічним зв'язком поршня-ударника з впускними елементами: Дис...канд. техн. наук: 05.02.03. - Вінниця, 2003. - 296 с.
2. Кузнецов К.А. Разработка и исследование регулируемого поршневого вибровозбудителя с пневмоприводом для строительных технологий: Дис...канд. техн. наук: 05.02.03. - Винница, 1998. - 275 с.