

# РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОМІЖНИХ ФАЗ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИВОДІВ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ІЗ ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМ КЕРУВАННЯМ

Стасюк В.М., Стасюк В.В.

Україна, Луцький державний технічний університет

*The methods of determination of parameters of intermediate phases of the working cycle of pneumatic drives of vibrating machines with pneumo-mechanical control are presented.*

**Вступ.** Під час досліджень робочих процесів пневматичних приводів вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням акцент робиться на початкових та завершальних фазах прямого та зворотного ходів поршня, оскільки вони є визначальними в плані формування силових навантажень, частоти ходів поршня та інших технічних характеристик машин [1,2]. Однак проведені дослідження свідчать, що від правильності планування протікання проміжних фаз робочого циклу (яке можливе шляхом оперування величинами розмірів конструктивних елементів привода) істотно залежить тривалість цих фаз та інші параметри, значення яких мають вагомий вплив на величини технічних показників вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням. Крім того, необхідність дослідження проміжних фаз обґрунтовується тим, що завершальна фаза може розпочатися лише за умови досягнення потрібних кінцевих величин параметрів проміжних фаз.

**Аналіз останніх досліджень.** На сьогоднішній день немає ніякої інформації стосовно досліджень (або їх результатів) проміжних фаз робочих циклів пневматичних приводів вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням та залежності їх параметрів від розмірів конструктивних елементів приводів, за винятком результатів, отриманих для деяких окремих конструкцій в роботах [1,2].

**Методика досліджень.** Основу методики складають результати досліджень пневматичних приводів вібраційних машин, наведені в роботах [1,2], а також результати чисельних досліджень комплексних математичних моделей робочих процесів приводів вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням.

**Постановка завдання.** Стаття присвячена розробці методики визначення параметрів проміжних фаз робочого циклу пневматичних приводів вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням, яка базується на врахуванні розмірів найбільш вагомих конструктивних елементів приводів.

**Результати досліджень.** Відомо, що після контактної взаємодії з об'єктом силового навантаження починається зворотний хід поршня. Перша проміжна фаза пневматичних

приводів вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням для даного етапу триває з моменту закриття впускного елемента камери холостого ходу і до моменту закриття випускних отворів. Тиск  $p_{II1}$  в камері холостого ходу визначається за формулою

$$p_{II1} = 0,47 p_M \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{IIb}}{x_2 + l_{H2}} \right)^{-k} \right],$$

де  $p_M$  - мережний тиск;  $l_{IIb}$  - відстань від вісі впускного елемента камери холостого ходу до вісі випускних отворів;  $x_2$  - фіктивна координата камери холостого ходу;  $l_{H2}$  - довжина ходу наповнення камери холостого ходу;  $k$  - коефіцієнт адіабати.

Оскільки випускні отвори на цій фазі відкриті, то тиск  $p_{I1}$  в камері робочого ходу рівний атмосферному  $p_a$ :  $p_{I1} = p_a$ .

Рівняння, яке описує рух поршня на цій фазі, має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0,47 p_M \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{IIb}}{x_2 + l_{H2}} \right)^{-k} \right] F - p_a F,$$

де  $F$  - площа поперечного перерізу суцільноциліндричної частини поршня.

$$\text{Час протікання фази: } t_{\phi 1} = \sqrt{\frac{2ml_{IIb}}{0,47 p_M \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{IIb}}{x_2 + l_{H2}} \right)^{-k} \right] F - p_a F}}.$$

Наступною проміжною фазою, характерною для багатьох приводів, є рух поршня від моменту закривання ним випускних отворів до моменту вмикання впускного елемента камери робочого ходу. Ця фаза специфічна тим, що закритими є обидві робочі камери привода.

Тиск  $p_{II2}$  в камері холостого ходу:

$$p_{II2} = \frac{0,47 p_M}{\left( 1 + \frac{l_{IIb}}{x_2 + l_{H2}} \right)^k} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{Ib}}{x_2 + l_{H2} + l_{Ib}} \right)^{-k} \right],$$

де  $l_{Ib}$  - відстань від вісі впускного елемента камери робочого ходу до вісі випускних отворів.

Тиск  $p_{I2}$  в камері робочого ходу:

$$p_{I2} = 0,5 p_a \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{Ib}}{s + x_1 - l_{H2} - l_{Ib}} \right)^{-k} \right],$$

де  $s$  - хід поршня;  $x_1$  - фіктивна координата камери робочого ходу.

Рівняння руху поршня:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{0,47 p_M F}{\left(1 + \frac{l_{Ib}}{x_2 + l_{H2}}\right)^k} \left[ 1 + \left(1 + \frac{l_{Ib}}{x_2 + l_{H2} + l_{Ib}}\right)^{-k} \right] - 0,5 p_a F \left[ 1 + \left(1 - \frac{l_{Ib}}{s + x_1 - l_{H2} - l_{Ib}}\right)^{-k} \right].$$

Час протікання фази:

$$t_{\phi 2} = \left\{ \begin{array}{l} 2ml_{Ib} / \frac{0,47 p_M F}{\left(1 + \frac{l_{Ib}}{x_2 + l_{H2}}\right)^k} \left[ 1 + \left(1 + \frac{l_{Ib}}{x_2 + l_{H2} + l_{Ib}}\right)^{-k} \right] - \\ - 0,5 p_a F \left[ 1 + \left(1 - \frac{l_{Ib}}{s + x_1 - l_{H2} - l_{Ib}}\right)^{-k} \right] \end{array} \right\}^{0,5}.$$

За умови виконання кінцевих умов проаналізованої проміжної фази настає завершальна фаза - гальмування поршня і його повна зупинка в крайній точці камери робочого ходу, якою й закінчується етап зворотного ходу.

Після завершення початкової фази етапу робочого ходу, яка характеризується виникненням руху поршня під дією сили тиску стисненого мережного повітря, починається перша проміжна фаза даного етапу, котра триває до відкриття випускних отворів.

Тиск  $p_{I3}$  в камері холостого ходу:

$$p_{I3} = 0,5 p_a \left[ 1 + \left(1 - \frac{l_{Ib}}{s + x_2 - l_{H1}}\right)^{-k} \right],$$

де  $l_{H1}$  - довжина ходу наповнення камери робочого ходу.

Тиск  $p_{I3}$  в камері робочого ходу:  $p_{I3} = 0,45 p_M \left[ 1 + \left(1 + \frac{l_{Ib}}{x_1 + l_{H1}}\right)^{-k} \right]$ .

Рівняння, яке описує рух поршня на цій фазі, має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0,45 p_M F \left[ 1 + \left(1 + \frac{l_{Ib}}{x_1 + l_{H1}}\right)^{-k} \right] - 0,5 p_a F \left[ 1 + \left(1 - \frac{l_{Ib}}{s + x_2 - l_{H1}}\right)^{-k} \right].$$

Тривалість фази:

$$t_{\phi 3} = \left\{ \begin{array}{l} 2ml_{lb} / 0,45 p_M F \left[ 1 + \left( 1 + \frac{l_{lb}}{x_1 + l_{H1}} \right)^{-k} \right] - \\ - 0,5 p_a F \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{lb}}{s + x_2 - l_{H1}} \right)^{-k} \right] \end{array} \right\}^{0,5}.$$

На протязі наступної проміжної фази відпрацьоване повітря з камери робочого ходу починає виходити в атмосферу, а в камері холостого ходу з рухом поршня продовжується стискання повітря.

Тиск  $p_{H4}$  в камері холостого ходу:

$$p_{H4} = 0,5 p_a \left( 1 - \frac{l_{lb}}{s + x_2 - l_{H1}} \right)^{-k} \cdot \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{lb}}{s + x_2 - l_{H1} - l_{lb}} \right)^{-k} \right].$$

Тиск  $p_{I4}$  в камері робочого ходу:

$$p_{I4} = 0,25 p_M \left( 1 + \frac{l_{lb}}{x_1 + l_{H1}} \right)^{-k} + 0,5 p_a.$$

Рівняння руху поршня:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F \left[ 0,25 p_M \left( 1 + \frac{l_{lb}}{x_1 + l_{H1}} \right)^{-k} + 0,5 p_a \right] - \\ - 0,5 p_a F \left( 1 - \frac{l_{lb}}{s + x_2 - l_{H1}} \right)^{-k} \cdot \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{lb}}{s + x_2 - l_{H1} - l_{lb}} \right)^{-k} \right].$$

Час протікання фази:

$$t_{\phi 4} = \left\{ \begin{array}{l} 2ml_{lb} / F \left[ 0,25 p_M \left( 1 + \frac{l_{lb}}{x_1 + l_{H1}} \right)^{-k} + 0,5 p_a \right] - \\ - 0,5 p_a F \left( 1 - \frac{l_{lb}}{s + x_2 - l_{H1}} \right)^{-k} \cdot \left[ 1 + \left( 1 - \frac{l_{lb}}{s + x_2 - l_{H1} - l_{lb}} \right)^{-k} \right] \end{array} \right\}^{0,5}.$$

Відкриттям впускного елемента камери холостого ходу завершується остання проміжна фаза робочого циклу й розпочинається завершальна фаза етапу робочого ходу.

Значення фіктивних координат  $x_1$  та  $x_2$ , використаних у наведених вище залежностях, визначаються за виразами [2]

$$x_1 = \frac{V_{01}}{F}; \quad x_2 = \frac{V_{02}}{F},$$

де  $V_{01}$ ,  $V_{02}$  - компенсаційний об'єм відповідно камери робочого та холостого ходу.

Величини компенсаційних об'ємів наближено визначаються за формулами [2]

$$V_{01} = 0,6D^2s; V_{02} = 0,8D^2s,$$

де  $D$  - діаметр суцільноциліндричної частини поршня.

Наближене значення величини ходу  $s$  можна визначити за виразом [2]

$$s = \frac{g v_y}{f},$$

де  $g = 0,27$  - коефіцієнт, отриманий експериментальним шляхом [2];  $v_y$  - швидкість руху поршня в момент перед контактною взаємодією з об'єктом сприйняття імпульсного силового навантаження;  $f$  - частота ходів поршня.

Величини ходів наповнення  $l_{H1}$  та  $l_{H2}$  вибираються з міркувань необхідності забезпечення високого ступеня наповнення робочих камер стисненим мережним повітрям. Згідно експериментальних даних [2] їх величини повинні становити:  $l_{H1} \approx 0,9l_{\Pi}$ ;  $l_{H2} \approx 0,25s$  (де  $l_{\Pi}$  - загальна довжина поршня).

Щодо відстаней  $l_{lb}$  і  $l_{lb}$ , то за умови використовуються у приводах вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням суцільноциліндричних коротких поршнів їх величини  $l_{lb}$  потрібно визначати за виразами [2]:  $l_{lb} = l_{\Pi} - 0,8l_{H2}$ ,  $l_{\Pi} < l_{lb} < 1,5l_{\Pi}$ .

**Висновок.** Очевидно, що за допомогою запропонованої методики можна встановити залежність основних параметрів проміжних фаз зворотного та прямого ходів поршня від конструктивних параметрів пневматичних приводів вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням. Але оскільки від ефективності виконання проміжних фаз залежить як якість завершальних, так і величини ряду показників робочого циклу, то розроблену методику можна використовувати для аналізу робочого процесу привода в цілому, а окремі її формули - для виявлення залежностей основних технічних показників вібраційних машин із пневмомеханічним керуванням від розмірів основних конструктивних елементів їх приводів.

### Перелік посилань

1. 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. 2. 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.