

УДК 622.232

В.М.Стасюк

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКА ПОЛІТРОПИ НА ПРОТЯЗІ РОБОЧОГО ЦИКЛУ ПРИВОДІВ ІЗ ПНЕВМОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ КЕРУВАННЯ

Виконані дослідження зміни показника політропи на характерних фазах робочого циклу приводів із пневмомеханічними системами керування.

Постановка проблеми. Під час теоретичних досліджень робочих циклів приводів ударних машин із пневмомеханічними системами керування термодинамічні процеси в їх камерах вважаються адіабатними. Такий підхід істотно спрощує математичну модель робочого циклу, полегшує процес її дослідження, однак часто є однією з основних причин значної неадекватності результатів теоретичних й експериментальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень. Змінність показника політропи у приводах ударних машин із пневмомеханічними системами керування одночасно із займанням поршнем характерних позицій на етапах його холостого та робочого ходів у приводах із пневмомеханічними системами керування доведена в роботах [1,2]. Однак детальних результатів подібних досліджень, які можна було б використовувати на етапах проектних розрахунків названих приводів, у літературних та електронних джерелах інформації виявити не вдалось.

Формулювання цілі статті – дослідити змінність показника політропи на окремих фазах робочого циклу приводів із пневмомеханічними системами керування з метою підвищення точності проектних розрахунків ударних машин, оснащених цими приводами, та зменшення їх енергоємності.

Основна частина. Системи диференціальних рівнянь математичних моделей робочих циклів приводів із пневмомеханічними системами керування зазвичай складаються з допущенням, що термодинамічні процеси зміни стану повітря в пневмокамерах холостого ходу поршня (А) та його робочого ходу (Б), об'єми яких безперервно змінюються на протязі робочого циклу, наближаються до адіабатного (з показником адіабати k). Уточнимо прийняте допущення. Відомо, що при змінній кількості повітря в пневмокамері характер протікання термодинамічних процесів інший, ніж при його постійній кількості [3,4,5]. У загальному випадку термодинамічний процес у камері з непостійною кількістю повітря протікає зі змінним показником політропи n [4]. Хоча в окремих випадках показник політропи приймає цілком визначену величину (як для пневмокамер із постійною кількістю повітря).

Це нескладно довести, використавши формулу для визначення показника політропи n [4]:

$$n = k - \psi'(k - 1),$$

де ψ' - безрозмірний коефіцієнт, який характеризує термодинамічні процеси при змінній кількості повітря в камері:

$$\psi' = \frac{dQ_D / dt + (i_0 - k\omega)M_I}{dA / dt - \omega(k - 1)(\dot{I}_I - \dot{I}_A)},$$

де dQ_T - кількість теплової енергії, що підводиться до всього об'єму повітря в камері за проміжок часу dt ; i_0 - питома теплоємність (ентальпія) повітря, що надходить у пневматичну камеру; ω - питома внутрішня енергія повітря; M_I , \dot{I}_A - маса повітря, яке відповідно надходить у пневмокамеру й виходить із неї; dA - зміна зовнішньої роботи.

Детальний аналіз останньої формули показує, що для пневматичних камер змінного об'єму приводів із пневмомеханічними системами керування $\psi' = 0$ лише за дотримання наступних умов:

- $dQ_T / dt = 0$, тобто теплообмін із навколишнім середовищем відсутній;
- $\dot{I}_I = 0$, тобто повітря в пневматичну камеру приводу не надходить;

- $dA/dt \neq 0$, тобто існує зміна внутрішньої роботи.

Тобто у цього випадку (згідно вищенаведеної формули $n = k - \psi'(k-1)$), показник політропи фактично являє собою коефіцієнт адіабати: $n = k$, тобто у пневматичній камері змінного об'єму приводу пневмомеханічною системою керування триває адіабатний процес.

Термодинамічний процес у пневматичній робочій порожнині приводу з пневмомеханічним розподілом енергоносія, в яку за деякий проміжок часу надходить певна кількість стисненого магістрального повітря (тобто $\dot{I}_i \neq 0$ при $dA/dt \neq 0$ та $dQ_T/dt = 0$), кардинально відрізняється від адіабатного. Його можна описати за допомогою змінного показника політропи [4]

$n = 1 + [\sigma_0^*(k-1)/\sigma]$, де $\sigma_0^* = \frac{p_a}{p_M}$ (p_a - тиск атмосферний; p_M - тиск повітря в магістралі живлення; σ - відношення тиску в середовищі, в яке надходить газ, до тиску в середовищі, з якого він витікає).

Результати дослідження змінності показника політропи n на протязі робочого циклу приводу з пневмомеханічною системою керування наведені в таблиці (знак " \neq " в ній означає "не дорівнює").

Показник політропи n для різних фаз робочого циклу

Фаза	Камера				Показник політропи
I	A	0	0	-	$n = 1 + [\sigma_0^*(k-1)/(p_{Ai}/p_M)]$
	Б	0	$\neq 0$	0	$n = k$
II	A	0	0	0	$n = k$
	Б	0	$\neq 0$	0	$n = k$
III	A	0	0	0	$n = k$
	Б	0	0	0	$n = k$
IV	A	0	0	0	$n = k$
	Б	$\neq 0$	0	-	$n = 1 + [\sigma_0^*(k-1)/(p_{AIV}/p_M)]$
V	A	0	$\neq 0$	0	$n = k$
	Б	$\neq 0$	0	-	$n = 1 + [\sigma_0^*(k-1)/(p_{AV}/p_M)]$
VI	A	0	$\neq 0$	0	$n = k$
	Б	$\neq 0$	0	-	$n = 1 + [\sigma_0^*(k-1)/(p_{AVI}/p_M)]$
VII	A	0	0	0	$n = k$
	Б	0	0	-	$n = 1 + [\sigma_0^*(k-1)/(p_{AVII}/p_M)]$
VIII	A	0	0	0	$n = k$
	Б	0	0	0	$n = k$
IX	A	0	0	0	$n = k$
	Б	0	$\neq 0$	0	$n = k$
X	A	$\neq 0$	0	-	$n = 1 + [\sigma_0^*(k-1)/(p_{AX}/p_M)]$
	Б	0	$\neq 0$	0	$n = k$

Величини тисків p_{Ai} , p_{Ai} у наведених у таблиці формулах для визначення показника політропи n приймаються рівними середнім тискам на відповідних фазах:

$$p_{Ai} = 0,97 p_M [2];$$

$$p_{A^2V} = 0,5 \left[p_a \left(1 - \frac{l_3}{s + x_{01} - l_1 - l_2} \right)^{-k} + 0,8 p_M \right] [2];$$

$$p_{AV} = 0,9 p_M [2]; p_{AVI} = p_M [2]; p_{AVII} = 0,95 p_M [2];$$

$$p_{AX} = 0,25 p_a \left(1 - \frac{l_4}{x_{02} + s - l_5} \right)^{-k} \cdot \left(1 - \frac{l_3}{x_{02} + s - l_5 - l_4} \right)^{-k} \times$$

$$\times \left[1 + \left(1 - \frac{l_2}{x_{02} + s - l_5 - l_4 - l_3} \right)^{-k} \right] + 0,5 p_M [2],$$

де l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 - відстань, на яку перемістився поршень на відповідній фазі робочого циклу приводу; s - величина загального ходу поршня; x_{01}, x_{02} - довжини компенсаційних камер відповідно робочого та холостого ходів.

Крім того, характер термодинамічного процесу істотно впливає на витратні характеристики ударних машин із приводами на основі пневмомеханічного розподілу. Тобто уточнення показника політропи для кожної характерної фази робочого циклу дозволить оцінити енергоємність окремо взятої фази й шляхом варіювання величинами конструктивних параметрів, задіяних у робочому циклі на конкретній фазі, за потреби здійснювати регулювання витрат енергоносія.

Тобто у цілому для адіабатних фаз робочого циклу приводу із пневмомеханічною системою керування витратні функції $\varphi_z(\sigma_{A^3})$, $\phi_z(\sigma_{A^3})$ визначатимуться за виразами:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_z(\sigma_{A^3}) &= \sqrt{\sigma_{A^3}^{2/k} - \sigma_{A^3}^{(k+1)/k}} \\ \varphi_z(\sigma_{A^3}) &= \sqrt{\sigma_{A^3}^{2/k} - \sigma_{A^3}^{(k+1)/k}} \end{aligned} \right\} \text{при } 0,528 < \sigma_{A^3}, \sigma_{A^3} < 1;$$

$$\left. \begin{aligned} \phi_z(\sigma_{A^3}) &= 0,2588 \\ \phi_z(\sigma_{A^3}) &= 0,2588 \end{aligned} \right\} \text{при } 0 < \sigma_{A^3}, \sigma_{A^3} < 0,528,$$

а для політропних:

$$\varphi_z(\sigma_{A^3}) = \sqrt{\sigma_{A^3}^{2/i_z} - \sigma_{A^3}^{(i_z+1)/i_z}};$$

$$\varphi_z(\sigma_{A^3}) = \sqrt{\sigma_{A^3}^{2/i_z} - \sigma_{A^3}^{(i_z+1)/i_z}},$$

де z – порядковий індекс.

Висновок. Досліджена зміна показника політропи на окремих фазах робочого циклу приводів із пневмомеханічними системами керування. Використання результатів досліджень на етапі проектних розрахунків машин, оснащених цими приводами, дозволить підвищити їх точність та зменшити енергоємність.

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.
3. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика: Підручник / В.О. Федорець, М.Н. Педченко, В.Б. Струтинський та ін. / За ред. В.О. Федорця. - К.: Вища шк., 1995. - 463 с.
4. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. - М.: Машиностроение, 1985. - 256 с.
5. Стасюк В.М. Дослідження динаміки сил опору на протязі робочого циклу приводів із пневмомеханічними системами керування // Наукові нотатки. (Луцький державний технічний університет). - 2009. - №25. - С. 342-344