

## ДО ПИТАННЯ ПРО ПОВНЕ ЗРІВНОВАЖЕННЯ СИЛ ІНЕРЦІЇ СТОЛА ПЛОСКОДРУКАРСЬКИХ МАШИН

Однією з важливих проблем динаміки двооборотних плоскодрукарських машин є задача зрівноваження сил інерції стола при реверсах. Для повного зрівноваження цих сил потрібне співпадання сил інерції і зусиль в амортизаторах у довільному положенні стола.

В даній роботі ставиться завдання знайти закон зміни швидкості привода, який забезпечує зміну сил інерції стола по кривій зусиль в амортизаторах.

Задача розв'язується при таких припущеннях:

- 1) швидкість стола до початку гальмування стала;
- 2) нехтується витіканням повітря в амортизаторах.

Зусилля в амортизаторах  $P_a$  при стиску повітря визначається, згідно з [1], такими рівняннями:

$$P_a = \frac{\pi d^2}{2} \left[ \left( \frac{l}{l - r\varphi} \right)^{1,3} - 1 \right] \quad \text{при } 0 < \varphi \leq \varphi_v, \quad (1)$$

$$P_a = \frac{\pi d^2}{2} \left\{ \left[ \frac{l}{l - r\varphi_v - r \sin(\varphi - \varphi_v)} \right]^{1,3} - 1 \right\} \quad \text{при } \varphi_v < \varphi < \varphi_v + 90^\circ, \quad (2)$$

де  $\varphi$  — кут повороту кривошипа;

$\varphi_v$  — кут випередження;

$r$  — радіус кривошипа;

$l$  — довжина циліндра амортизатора;

$d$  — діаметр циліндра.

Сила інерції стола  $I_{ст}$  виражається так:

$$I_{ст} = m \cdot \omega_{ст},$$

де  $m$  — приведена до стола маса ланок, що здійснюють поступовий рух;

$\omega_{ст}$  — прискорення стола.

За умовою задачі, в кожний момент часу сила інерції стола повинна дорівнювати зусиллю в амортизаторах, тобто

$$I_{ст} = P_a.$$

В цьому випадку зусилля на кривошипі під час реверсу стола буде відсутнє. Отже, залежність прискорення стола від кута повороту кривошипа при стиску матиме такий вигляд:

$$\omega_{ст} = \frac{P_a}{m} = f(\varphi). \quad (3)$$

При розширенні повітря в амортизаторах одержимо аналогічний закон зміни прискорення.

Рівняння (3) з підстановкою (1) і (2) дає закон зміни прискорення стола, необхідний для повного зрівноваження сил інерції стола при гальмуванні і реверсі.

Рух стола плоскодрукерської двообертової машини визначається такими залежностями: при  $0 < \varphi < \varphi_0$ .

$$\begin{aligned} v_{ст} &= r\omega, \\ \omega_{ст} &= r\omega \frac{d\omega}{d\varphi}, \end{aligned} \quad (4)$$

а при  $\varphi_0 < \varphi < \varphi_0 + 90^\circ$  (рівняння вигідніше записувати в системі координат, зсуненій на  $\varphi_0$  вправо порівняно з попередньою)

$$\begin{aligned} v_{ст} &= r\omega \cos \varphi, \\ \omega_{ст} &= -r\omega^2 \sin \varphi + r\omega \cos \varphi \frac{d\omega}{d\varphi}, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\omega$  — кутова швидкість обертання кривошипа;  
 $v_{ст}$  — швидкість переміщення стола.

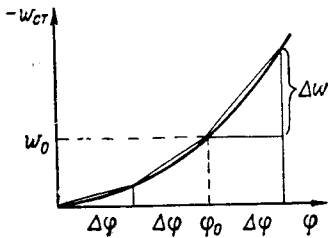


Рис. 1. Апроксимація кривої прискорення стола.

Для визначення потрібного характеру зміни швидкості обертання кривошипа треба прирівняти вирази (3) і (4) та (3) і (5). В результаті одержимо два нелінійні диференціальні рівняння, які, в зв'язку із складністю виразів (1) і (2) не інтегруються в кінцевому вигляді.

Задачу розв'яжемо наближено, застосувавши метод лінійно-кускової апроксимації. Для цього замінимо криву  $\omega_{ст} = f(\varphi)$ , рівняння (3) ламаною (рис. 1).

Прискорення для довільної ділянки ламаної запишеться так:

$$\omega_{ст} = -\omega_0 - \frac{\Delta w}{\Delta \varphi} (\varphi - \varphi_0), \quad (6)$$

де  $\omega_0$  і  $\varphi_0$  — прискорення стола і кут повороту кривошипа на початку ділянки.

Прирівнявши (4), (5) і (6), одержимо такі диференціальні рівняння:

при  $0 < \varphi < \varphi_0$

$$r\omega \frac{d\omega}{d\varphi} = -\omega_0 - \frac{\Delta w}{\Delta \varphi} (\varphi - \varphi_0); \quad (7)$$

при  $\varphi_0 < \varphi < \varphi_0 + 90^\circ$

$$-r\omega^2 \cdot \sin \varphi + r\omega \cos \varphi \frac{d\omega}{d\varphi} = -\omega_0 - \frac{\Delta w}{\Delta \varphi} (\varphi - \varphi_0). \quad (8)$$

У рівнянні (8) кут  $\varphi$  змінюється від 0 до  $90^\circ$ .

Розв'яжемо спочатку рівняння (7). Проінтегрувавши його, одержимо:

$$-\omega_0 \varphi - \frac{\Delta w}{\Delta \varphi} \cdot \frac{\varphi^2}{2} + \frac{\Delta w}{\Delta \varphi} \varphi_0 \varphi = \frac{r\omega^2}{2} + C. \quad (9)$$

За початковими умовами визначаємо сталу інтегрування; при  $\varphi = \varphi_0$ ,  $\omega = \omega_0$ , маємо:

$$C = -\omega_0 \varphi_0 - \frac{\Delta w}{\Delta \varphi} \frac{\varphi_0^2}{2} + \frac{\Delta w}{\Delta \varphi} \varphi_0^2 - \frac{r\omega_0^2}{2}, \quad (10)$$

де  $\omega_0$  — початкова швидкість кривошипа на даній ділянці.

Підставивши (10) в (9), одержимо:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{2}{r}(\varphi - \varphi_0) \left[ \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2\Delta\varphi}(\varphi - \varphi_0) \right]}. \quad (11)$$

Для кінцевої точки будь-якої ділянки кривої прискорення будемо мати  $\varphi - \varphi_0 = \Delta\varphi$ , отже, кінцева швидкість на ділянці виразиться формулою:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{2\Delta\varphi}{r}(\omega_0 + 0,5\Delta\omega)}. \quad (12)$$

Тепер розв'яжемо рівняння (8). Поділивши обидві сторони рівняння на  $r\omega \cos \varphi$ , матимемо:

$$\frac{d\omega}{d\varphi} - \omega \operatorname{tg} \varphi = - \frac{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{\Delta\varphi}(\varphi - \varphi_0)}{r \cos \varphi} \cdot \omega^{-1}. \quad (13)$$

Рівняння (13) представляє собою рівняння Бернуллі. Розв'язавши його, одержимо:

$$\omega = \frac{1}{\cos \varphi} \sqrt{C - \frac{2\omega_0}{r} \sin \varphi - \frac{2\Delta\omega}{r\Delta\varphi} [(\varphi - \varphi_0) \sin \varphi + \cos \varphi]}, \quad (14)$$

де за тими ж початковими умовами

$$C = \omega_0^2 \cos^2 \varphi_0 + \frac{2\omega_0}{r} \sin \varphi_0 + \frac{2\Delta\omega}{r\Delta\varphi} \cos \varphi_0. \quad (15)$$

Швидкість обертання двигуна і швидкість переміщення стола можна знайти за формулами:

$$n_d = \frac{30}{\pi} \cdot i_{d-k} \cdot \omega, \quad (16)$$

$$v_{ct} = r\omega \quad (\text{при } 0 < \varphi < \varphi_s), \quad (17)$$

$$v_{ct} = r\omega \cos \varphi \quad (\text{при } \varphi_s < \varphi < \varphi_s + 90^\circ), \quad (18)$$

де  $i_{k-d}$  — передаточне число між валом двигуна і валом кривошипа.

Для прикладу проведемо розрахунок для машини ДП при робочій швидкості стола  $V_{cto} = 160 \text{ см/сек}$ .

Згідно з [1]:  $r = 18 \text{ см}$ ,

$$\omega_{0/\varphi=0} = \frac{v_{cto}}{r} = \frac{160}{18} = 8,88 \frac{1}{\text{сек}},$$

$$m = \frac{I_{ct \max}}{r \omega_0^2} = \frac{1812}{18 \cdot 8,88^2} = 1,28 \text{ кг.сек}^2/\text{см}.$$

Прийmemo  $\varphi_s = 60^\circ$ ;  $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0 = 10^\circ$  (0,1745 радіан).

Розрахункові формули:

$$\omega_{ct} = \frac{P_a}{1,28}, \quad (3')$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 0,0194(\omega_0 + 0,5\Delta\omega)}, \quad (12')$$

$$\omega = \frac{1}{\cos \varphi} \sqrt{C - 0,111 \omega_0 \sin \varphi - 0,637 \Delta\omega (0,1745 \sin \varphi + \cos \varphi)}, \quad (14')$$

$$C = \omega_0^2 \cos^2 \varphi_0 + 0,111 \omega_0 \sin \varphi_0 + 0,637 \Delta\omega \cos \varphi_0. \quad (15')$$

$$n_d = 158 \omega, \quad (16')$$

$$v_{ct} = 18\omega, \quad (17')$$

$$v_{ct} = 18 \omega \cos \varphi. \quad (18')$$

Результати розрахунків зведені в таблицях 1 і 2.

Таблиця 1 ( $0 < \varphi < \varphi_v$ )

$\varphi$ град.	$\rho_a^{(1)}$ кг	$\omega_{ст}$ см/сек <sup>2</sup>	$\omega_0$ см/сек <sup>2</sup>	$\Delta\omega$ см/сек <sup>2</sup>	$\omega_0$ 1/сек	$\omega$ 1/сек	$n_d$ об/хв	$v_{ст}$ см/сек
0	0	0	0	0	8,88	8,88	1400	160,0
10	30	23,4	0	23,4	8,88	8,88	1400	160,0
20	66	50,7	23,4	27,7	8,88	8,84	1396	159,0
30	106(2)	82,0	50,7	31,3	8,84	8,77	1384	157,7
40	157	122,5	82,0	40,5	8,77	8,65	1367	155,6
50	219(2)	171,0	122,5	48,5	8,65	8,44	1340	152,6
60	297(2)	232,0	171,0	61,0	8,44	8,28	1293	149,0

Таблиця 2 ( $\varphi_v < \varphi < \varphi_v + 90^\circ$ )

$\varphi$ град.	$\varphi_0$ град.	$\rho_a^{(1)}$ кг	$\omega_{ст}$ см/сек <sup>2</sup>	$\omega_0$ см/сек <sup>2</sup>	$\Delta\omega$ см/сек <sup>2</sup>	$\omega_0$ 1/сек	$C$	$\omega$ 1/сек	$n_d$ об/хв	$v_{ст}$ см/сек
10	0	396	309	232	77	8,28	117,3	8,07	1270	143,0
20	10	525	410	309	101	8,07	132,6	8,01	1265	136,0
30	20	673	526	410	116	8,01	140,5	8,01	1265	125,0
40	30	880	687	526	161	8,01	166,1	8,13	1287	112,0
50	40	1100(2)	860	687	173	8,13	172,2	8,28	1310	95,7
60	50	1350(2)	1050	860	190	8,28	179,4	8,42	1330	75,7
70	60	1580	1233	1050	183	8,42	177,2	8,63	1362	53,2
80	70	1740	1364	1233	131	8,63	165,9	8,78	1390	27,5
90	80	1812	1415	1364	51	8,78	157,3	8,88	1400	0

<sup>1</sup> За даними [1];

<sup>2</sup> Виправлено нами.

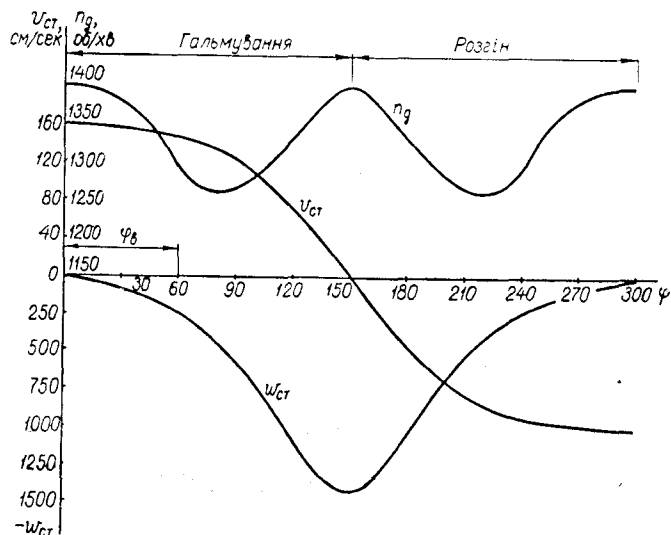


Рис. 2. Закони зміни прискорення стола ( $\omega_{ст}$ ), швидкості стола ( $v_{ст}$ ) і швидкості обертання двигуна ( $n_d$ ) при реверсі.

На рис. 2 наведені графіки зміни швидкості двигуна, швидкості і прискорення стола при гальмуванні і розгоні стола. Криві при розгоні симетричні кривим при гальмуванні.

Перепад швидкості привода при реверсі складає

$$\Delta\omega = \frac{8,88 - 8,01}{8,88} \cdot 100 = 9,9 \%$$

При більшій швидкості роботи машини потрібний перепад швидкості буде ще меншим, як це виходить з (12), (13) і (14): при збільшенні  $\omega_0$  вплив членів без  $\omega_0$  в цих формулах стає меншим.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. В. Т. Буш у н о в. Печатные машины, Машгиз, М.—Л., 1963.
2. А. А. Т ю р и н. Печатные машины, «Книга», М., 1966.

*I. A. VOLOSHCHAK, B. D. DENIS*

#### FLAT-BED CYLINDER MACHINE TYPE-BED FORCE OF INERTIA BALANCING

##### Summary

The authors suggest a new balancing method which deals with forced change of this force of inertia according the same effort law for bumper.

The drive speed change diagram for the type-bed reverse run was built to equalise force of inertia and bumper effort at the moment of time.

