

УДК 677.054.73(088.8)

Определение параметров движения элементов боевого механизма пружинного типа

Рыбаков В.А., Сысоева Е.К.

Костромской государственный технологический университет

Аннотация: Рассматривается процесс движения бойка боевого механизма на различных этапах.

Ключевые слова: боевой механизм, движение бойка.

Рассмотрим этап работы боевого механизма [1] модернизированного ковроткацкого станка, когда его боек продолжает свое движение без прокладчика утка (рис.1).

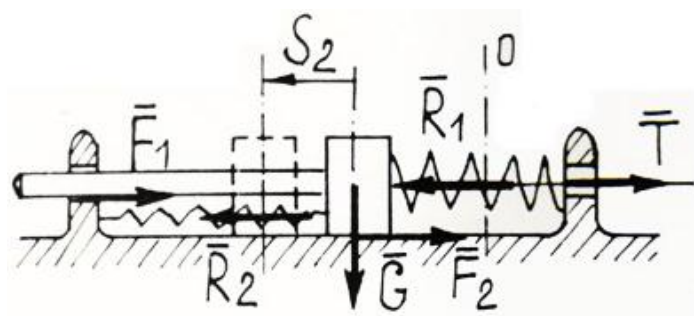


Рис. 1. К Выводу уравнения (1)

Уравнение движения бойка имеет вид:

$$(m + q) \cdot \ddot{x} + c \cdot x_1 = c \cdot S_0 - F_1 - F_2, \quad (1)$$

где $S_1 \leq x_1 \leq S_1 + S_2$

Или, учитывая обозначения:

$$m + q = p_1, \quad \frac{c}{p_1} = k_1^2, \quad S_0 - \frac{F_1 + F_2}{c} = a_1 \quad \ddot{x}_1 + k_1^2 \cdot x_1 = k_1^2 \cdot a_1 \quad (2)$$

Известно решение уравнения (2) в форме [2]:

$$x_1 = a_1 + A_1 \cdot \sin k_1 \cdot t + B_1 \cdot \cos k_1 \cdot t$$

$$\dot{x}_1 = A_1 \cdot k_1 \cdot \cos k_1 \cdot t - B_1 \cdot k_1 \cdot \sin k_1 \cdot t$$

Так как $x_{1t=\tau_1} = x_{t=\tau_1}$ и $\dot{x}_{1t=\tau_1} = \dot{x}_{t=\tau_1}$, то при $\tau_1 = \frac{\pi}{2 \cdot k}$

$$A_1 \cdot \sin k_1 \cdot \tau_1 + B_1 \cdot \cos k_1 \cdot \tau_1 + a_1 = a \cdot (1 - \cos k \cdot \tau_1) = a$$

$$A_1 \cdot k_1 \cdot \cos k_1 \cdot \tau_1 - B_1 \cdot k_1 \cdot \sin k_1 \cdot \tau_1 = a \cdot k \cdot \sin k \cdot \tau_1 = a \cdot k$$

Или

$\sin k_1 \tau_1$	$\cos k_1 \tau_1$	$=$	$a - a_1$
$k_1 \cdot \cos k_1 \tau_1$	$-k_1 \cdot \sin k_1 \tau_1$		$a \cdot k$

A_1	$= -\frac{1}{k_1}$	$-k_1 \cdot \sin k_1 \tau_1$	$-\cos k_1 \tau_1$	$=$	$a - a_1$
B_1		$-k_1 \cdot \cos k_1 \tau_1$	$\sin k_1 \tau_1$		$a \cdot k$

Откуда:
$$A_1 = -\frac{1}{k_1} \cdot [(a_1 - a) \cdot k_1 \cdot \sin k_1 \tau_1 - a \cdot k \cdot \cos k_1 \tau_1]$$

$$B_1 = -\frac{1}{k_1} \cdot [(a_1 - a) \cdot k_1 \cdot \cos k_1 \tau_1 + a \cdot k \cdot \sin k_1 \tau_1]$$

Зная постоянные A_1 и B_1 , получаем закон движения бойка (3) и, дифференцируя его по времени t , скорость (4) и ускорение (5):

$$x_1 = a_1 + (a - a_1) \cdot \cos k_1(t - \tau_1) - a \cdot \frac{k}{k_1} \cdot \sin k_1(t - \tau_1) \quad (3)$$

$$\dot{x}_1 = (a_1 - a) \cdot k_1 \cdot \sin k_1(t - \tau_1) + a \cdot k \cdot \cos k_1(t - \tau_1) \quad (4)$$

$$\ddot{x}_1 = (a_1 - a) \cdot k_1^2 \cdot \cos k_1(t - \tau_1) - a \cdot k \cdot k_1 \cdot \sin k_1(t - \tau_1) \quad (5)$$

Определим путь S_2 и время движения τ_2 , когда скорость бойка будет равна нулю. Для этого используем выражения (3), (4) и граничные условия на конце 2 участка.

$$x_{1t=\tau_1+\tau_2} = S_1 + S_2, \quad \dot{x}_{1t=\tau_1+\tau_2} = 0,$$

получим $0 = (a_1 - a) \cdot k_1 \cdot \sin k_1 \tau_1 + a \cdot k \cdot \cos k_1 \tau_2$,

откуда
$$\tau_2 = \frac{1}{k_1} \cdot \left[\pi + \arctg \frac{a \cdot k}{(a - a_1) \cdot k_1} \right]$$

$$2) S_1 + S_2 = a_1 + (a - a_1) \cdot \cos k_1 \tau_2 + a \cdot \frac{k}{k_1} \cdot \sin k_1 \tau_1$$

$$\text{Откуда } S_2 = a_1 - S_1 + (a - a_1) \cdot \cos k_1 \tau_1 + a \cdot \frac{k}{k_1} \cdot \sin k_1 \tau_2$$

С учетом $a = S_0 - \frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}{c}$ и $a_1 = S_0 - \frac{F_1 + F_2}{c}$ имеем

$$\tau_2 = \pi + \arctg \frac{(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 - c \cdot S_0) \cdot k}{(F_3 + F_4) \cdot k_1} \quad (6)$$

$$S_2 = S_1 \cdot \frac{k}{k_1} \cdot \sin k_1 \tau_2 + \frac{F_3 + F_4}{c} \cdot (1 - \cos k_1 \tau_2) \quad (7)$$

На следующем этапе происходит возвращение бойка в исходное положение (рис.2).

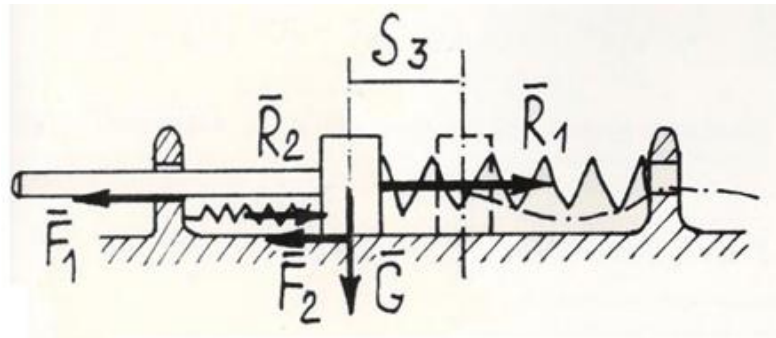


Рис. 2. К Выводу уравнения (8)

Уравнение движения бойка для этого случая имеет вид:

$$m \cdot \ddot{x}_2 + c \cdot x_2 = c \cdot S_0 + F_1 + F_2 \quad (8)$$

где $S_0 \leq x_2 \leq S_1 + S_2$

или с учетом обозначений $\frac{c}{m} = k_2^2$ и $S_0 + \frac{F_1 + F_2}{c} = a_2$

$$\ddot{x}_2 + k_2^2 \cdot x_2 = k_2^2 \cdot a_2 \quad (9)$$

решение которого имеет вид:

$$x_2 = a_2 + A_2 \cdot \sin k_2 t + B_2 \cdot \cos k_2 t$$

$$\dot{x}_2 = A_2 \cdot \cos k_2 t - B_2 \cdot k_2 \cdot \sin k_2 t$$

Поскольку $x_{2t=\tau_1+\tau_2} = x_{1t=\tau_1+\tau_2} = S_1 + S_2$, $\dot{x}_{2t=\tau_1+\tau_1} = \dot{x}_{1t=\tau_1+\tau_2} = 0$,

$$\text{то} \quad A_2 \cdot \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) + B_2 \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) + a_2 = S_1 + S_2$$

$$A_2 \cdot k_2 \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) - B_2 \cdot k_2 \cdot \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) = 0$$

$$\text{или} \quad A_2 \cdot \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) + B_2 \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) = S_1 + S_2 - a_2$$

$$A_2 \cdot k_2 \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) - B_2 \cdot k_2 \cdot \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) = 0$$

Полученные выражения представим в матричной форме

$$\begin{bmatrix} \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) & \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) \\ k_2 \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) & -k_2 \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + S_2 - a_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = -\frac{1}{k_2} \begin{bmatrix} -k_2 \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) & -\cos k_2(\tau_1 + \tau_2) \\ -k_2 \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) & \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1 + S_2 - a_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Откуда} \quad A_2 = (S_1 + S_2 - a_2) \cdot \sin k_2(\tau_1 + \tau_2)$$

$$B_2 = (S_1 + S_2 - a_2) \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2)$$

Зная постоянные A_2 и B_2 , получаем закон движения бойка(10), а затем скорость (11) и ускорение (12):

$$x_2 = a_2 + (S_1 + S_2 - a_2) \cdot \left[\underbrace{\sin k_2 t \cdot \sin k_2(\tau_1 + \tau_2) + \cos k_2 t \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2)}_{\cos k_2(t - \tau_1 - \tau_2)} \right]$$

$$x_2 = a_2 + (S_1 + S_2 - a_2) \cdot \cos k_2(t - \tau_1 - \tau_2) \quad (10)$$

$$\dot{x}_2 = (a_2 - S_1 - S_2) \cdot k_2 \cdot \sin k_2(t - \tau_1 - \tau_2) \quad (11)$$

$$\ddot{x}_2 = (a_2 - S_1 - S_2) \cdot k_2^2 \cdot \cos k_2(t - \tau_1 - \tau_2) \quad (12)$$

Подставляя граничные условия $t = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$, $x_2 = S_0$ в выражение (10),имеем

$$S_0 = a_2 + (S_1 + S_2 - a_2) \cdot \cos k_2 \tau_3$$

$$\text{откуда} \quad \tau_3 = \frac{1}{k_2} \cdot \arccos \frac{S_0 - a_2}{S_1 + S_2 - a_2} \quad (13)$$

При этом боек имеет скорость $V_{t=\tau_1+\tau_2+\tau_3} = (a_2 - S_1 - S_2) \cdot k_2 \cdot \sin \tau_3$

Используя граничные условия $t = \tau_1 + \tau_2 + \tau_4$, $x_2 = S_1 + S_2 - S_3$ и $\dot{x}_2 = 0$ можно определить путь S_3 бойка до остановки в крайнем положении, время τ_4 ,

соответствующее этому перемещению и оценить значения $(\tau_4 - \tau_3)$ и $\Delta = S_3 - (S_1 + S_2 - S_0)$, характеризующие отклонение бойка от исходного положения перед зарядкой (рис.3)

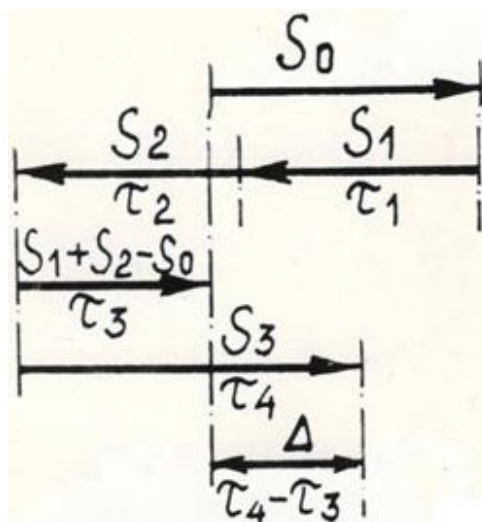


Рис. 3. Перемещение бойка на основных этапах работы боевого механизма

$$0 = (a_2 - S_1 - S_2) \cdot k_2 \cdot \sin k_2 \tau_4$$

$$\text{откуда } \tau_4 = \frac{\pi}{k_2}, \frac{2 \cdot \pi}{k_2}, \dots \quad (14)$$

$$S_1 + S_2 - S_3 = a_2 + (S_1 + S_2 - a_2) \cdot \cos k_2 \tau_4$$

$$S_3 \neq 0 \text{ этому условию удовлетворяет значение } \tau_4 = \frac{\pi}{k_2}$$

$$\text{Тогда } S_3 = 2 \cdot (S_1 + S_2 - a_2) \quad (15)$$

$$\tau_4 - \tau_3 = \frac{1}{k_2} \cdot \left(\pi - \arccos \frac{S_0 - a_2}{S_1 + S_2 - a_2} \right)$$

$$\Delta = S_3 + S_0 - S_1 - S_2$$

Выводы

Изучено движение элементов боевого механизма на различных этапах и выведены формулы для определения их кинематических характеристик.

Литература

1. Цветков Ю.Н., Горбунов А.П., Рыбаков В.А., Мартышенко В.А.
Боевой механизм ткацкого станка. Авт. свид. СССР №1008300 Кл.
ДОЗД 49/32.
2. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М.,
«Высшая школа», 1972. – 416 с.