

Кинематический анализ ударного МПС перфоратора с ручным приводом

В лаборатории ИА КР при участии Н.С.Абдраимовой предложены множество методов, на наш взгляд, более подходящий метод для кинематического анализа ударного механизма переменной структуры, о котором будет излагаться ниже.

На рис.1. представлена расчетная схема МПС. На рис.2 представлена кинематическая схема ударного МПС, показывающая разные положения при движении механизма.

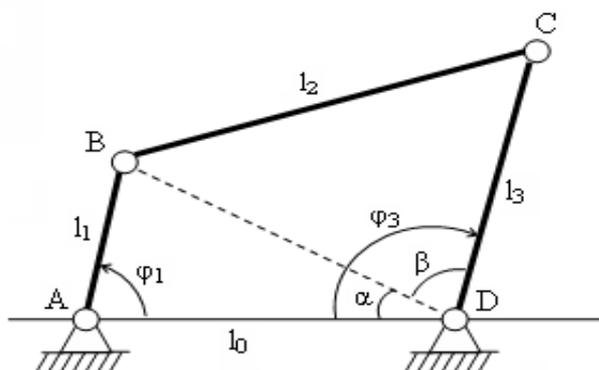


Рис.1. Расчетная схема МПС.

Рассмотрим условие, когда кривошип вращается с постоянной угловой скоростью $\omega_1 = \text{const}$. Проведем диагональ BD и обозначим ее через l_4 , а полученные углы через α и β ($\triangle ADB$ и $\triangle BDC$). Рассмотрим два положения механизма, симметричных относительно межопорного расстояния 1: N_7 и N_3 . Кинематические параметры механизма легко будет вычислены, если будем иметь полную зависимость, описывающую угол φ_3 от угла φ_1 .

Из рис.1 видно, что

$$\varphi_3 = \alpha + \beta \quad (1)$$

для положения N_7 . можно заметить, что для обоих положений механизма $\triangle l_2 l_3 l_4$ остается неизменным, т.е. $\varphi_2 = \beta$. А это значит, что

$$\varphi_3 = \beta + \alpha \quad (2)$$

Из вышеизложенного можно заключить, что для любого положения $\varphi_1(\pi; 2\pi)$ можно вычислить φ_3 , найдя углы α и β из соответствующих положений, где $\varphi_1(0; \pi)$. Путь прохождения коромысла при этом вычисляется по формуле

$$\varphi_3' = \pi - \varphi_3 \quad (3)$$

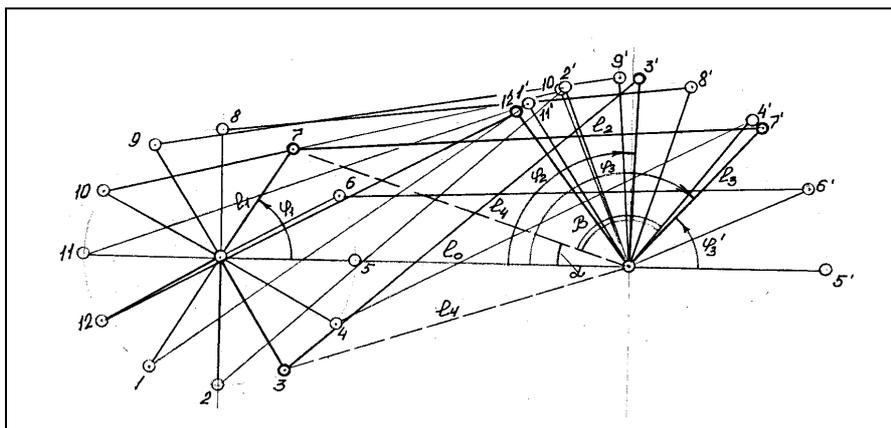


Рис.2. Схема положений ударного МПС.

Найдем углы α и β .

Из $\Delta l_1 l_0 l_4$ (рис.2) по теореме косинусов следует

$$\cos \alpha = \frac{l_1^2 - l_0^2 - l_4^2}{-2l_0 l_4} \quad (4)$$

Здесь $l_4^2 = l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1$ (5)

Уравнение (5) подставляем в уравнение (4) и получим

$$\cos \alpha = \frac{l_0 + l_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1}}$$

Следовательно $\alpha = \arccos \left[\frac{l_0 + l_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1}} \right]$ (6)

Вводим обозначения

$$E = l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi$$

$$K = \frac{l_0 + l_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{E}}$$

Тогда $\alpha = \arccos K$

Теперь из треугольника $\Delta l_2 l_3 l_4$ (рис.2) по теореме косинусов следует:

$$\cos \beta = \frac{-l_2^2 + l_3^2 + l_4^2}{2l_3 l_4} \quad (7)$$

Подставляем уравнение (5), получим

$$\cos \beta = \frac{-l_2^2 + l_3^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1 + l_4^2}{2l_3 \sqrt{l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1}}$$

Вводим обозначения

$$N = \frac{l_3^2 - l_2^2 + l_1^2 + l_0^2}{2l_3} \quad (8)$$

$$B = \frac{l_1 l_0}{l_3} \quad (9)$$

$$\cos \beta = \frac{-l_2^2 + l_3^2 + l_0^2 + l_4^2}{2l_3 \sqrt{E}} - \frac{l_0 l_1 \cos \varphi_1}{l_3 \sqrt{E}}$$

$$\cos \beta = \frac{l_3^2 - l_2^2 + l_1^2 + l_0^2}{2l_3\sqrt{E}} - \frac{l_0 l_1 \cos \varphi_1}{l_3\sqrt{E}}$$

$$\cos \beta \left((N - B \cos \varphi_1) \frac{1}{\sqrt{E}} \right) \quad (10)$$

Итак,
$$\beta = \arccos \left((N - B \cos \varphi_1) \frac{1}{\sqrt{E}} \right) \quad (11)$$

Найдем угловую скорость и ускорение звена $l_3 \varphi_3$, т.е. первую и вторую производные угла φ_3 по времени

$$\dot{\varphi}_3 = -\dot{\varphi}_3 \quad (12)$$

$$\ddot{\varphi}_3 = -\ddot{\varphi}_3 \quad (13)$$

$$\dot{\varphi}_3 = \alpha' \pm \beta' \quad (14)$$

$$\ddot{\varphi}_3 = \alpha'' \pm \beta'' \quad (15)$$

Вычислим производные углов α и β по φ_1

$$\alpha' = \left[\frac{l_0^2 - l_0 l_1 \cos \varphi_1}{l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1} - 1 \right] \dot{\varphi}_1 \quad (16)$$

$$\alpha'' = \frac{l_0 l_1 \sin \varphi_1 (l_1^2 - l_0^2)}{(l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1)^2} \dot{\varphi}_1' + \frac{\alpha'}{\varphi_1} \ddot{\varphi}_1 \quad (17)$$

$$\beta = (\arccos A)' = - \frac{A'}{\sqrt{1 - A^2}} \quad (18)$$

где
$$A = (N - B \cos \varphi_1) \frac{1}{\sqrt{E}} \quad (19)$$

$$A' = \frac{B}{2} \left[\frac{\sin \varphi_1}{\sqrt{l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1}} + (l_2^2 - l_3^2) \frac{\sin \varphi_1}{(l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1)^{3/2}} \right] \dot{\varphi}_1 \quad (20)$$

Для упрощения уравнения (20) введем обозначение

$$a_0 = \frac{\sin \varphi_1}{\sqrt{E}} + (l_2^2 - l_3^2) \frac{\sin \varphi_1}{E^{3/2}} \quad (21)$$

Тогда уравнение (20) примет вид

$$A' = \frac{B}{2} a_0 \dot{\varphi}_1$$

Таким образом уравнение (18) примет вид

$$\beta' = - \frac{A}{\sqrt{1 - \frac{(N - B \cos \varphi_1)}{l_1^2 + l_0^2 - 2l_1 l_0 \cos \varphi_1}}} \quad (22)$$

А вторая производная от угла β будет равна

$$\beta'' = \frac{A''(1 - A^2) + A(A')^2}{(1 - A^2)^{3/2}} \quad (23)$$

где
$$A'' = \left[\frac{B}{2} (x_1 + x_2) \dot{\varphi}_1 \right] + \frac{A'}{\varphi_1} \ddot{\varphi}_1 \quad (24)$$

здесь
$$x_1 = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{E}} - \frac{l_1 l_0 \sin^2 \varphi_1}{(E)^{3/2}} \quad (25)$$

$$x_2 = (l_2^2 - l_3^2) \left[\frac{\cos \varphi_1}{(E)^{3/2}} - x_0 \right] \quad (26)$$

$$x_0 = \frac{3l_1 l_0 \sin^2 \varphi_1}{(E)^{5/2}} \quad (27)$$

При вращении приводной ручки со скоростью 60 об/мин получаем, через мультипликатор, 900-1000 об/мин частоты вращения кривошипа ударного механизма перфоратора. Для расчета мы возьмем среднее значение 960 об/мин или 16 об/с.

Таким образом, для расчета примем, что частота вращения кривошипа составляет $n=16 \text{ с}^{-1}$ и $n=100 \text{ рад/с}$.

Значит при $l_1 < l_0 < l_3$,

удовлетворяется условие $l_1 + l_2 = l_0 + l_3$.

$l_0, l_2 = \text{const}$,

Здесь

$l_1, l_3 = \text{var}$.

При $l_0=6.5 \text{ мм}, l_2=11 \text{ мм}$

Получили $l_1=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$

$l_3=\{5, 5; 6, 5; 7, 5; 8, 5; 9, 5; 10, 5; 11, 5\}$.

На основании этих значений параметров получены расчетные и графические зависимости угла поворота, угловой скорости и углового ускорения коромысла от угла поворота кривошипа.

Литература:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.-Наука, 1988;
2. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. М.-Машиностроение, 1969;
3. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. М.-Наука, 1990;
4. Абдраимов С., Джуматаев М.С. Шарнирно-рычажные механизмы переменной структуры. Бишкек: Илим, 1993.