

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИКИ СИНУСНОГО МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

В работе представлен аналитический метод определения кинематических характеристик синусного механизма переменной структуры. Предложен синусный механизм переменной структуры с круговыми звеньями, имеющий возможность изменять длину хода ползуна.

К числу кинематических характеристик синусных механизмов переменной структуры (МПС) относятся траектории точек, координаты точек и звеньев механизма и прежде всего его обобщенные координаты, перемещения точек звеньев, их скорости и ускорения, а также и такие, которые не зависят от обобщенных координат. Это функции положения, аналоги скоростей, или передаточные функции, и аналоги ускорений точек и звеньев механизма.

Аналитические выражения кинематики для синусного МПС, предложенного в работе [1], определяем для холостого (кривошипно-ползунный механизм) и рабочего (синусный механизм) режимов работы.

Ниже определены аналитические выражения для кинематических характеристик.

Кривошипно-ползунный механизм (КПМ). Кинематическая схема КПМ для синусного МПС приведена на рис. 1. Направляющие ползуна 3 расположены вертикально, т.е. параллельно оси АУ и имеет смещение $y = L_1$. Начало системы координат АХУ совмещено с осью вращения кривошипа 1. Для однозначного определения направляющих углов φ_1 и φ_2 со звеньями 1 и 2 связывают векторы L_1 и L_2 . Длину шатуна 2 выражаем через длину L_1 кривошипа:

$$L_2 = \lambda_2 L_1; \quad e = \lambda_2 L_1$$

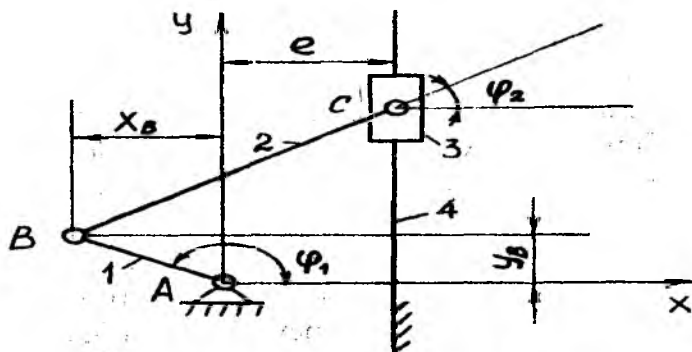


Рис.1. Кинематическая схема КПМ

Направляющий угол φ_2 вектора L_2 :

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{X_C - X_B}{Y_C - Y_B}, \quad (1)$$

где X_C, Y_C и X_B, Y_B - координаты начала В и конца С вектора L_2 , которые выражают в виде соотношений:

$$X_B = L_1 \cos \varphi_1$$

$$Y_B = L_1 \sin \varphi_1,$$

$$X_C = e = \lambda_e L_1$$

$$Y_C = L_1 \sin \varphi_1 + \sqrt{L_2^2 - (e - L_1 \cos \varphi_1)^2} = L_1 \left[\sin \varphi_1 + \sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_e - \cos \varphi_1)^2} \right]. \quad (2)$$

После подстановки уравнений (2) в (1) имеем:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\lambda_e - \cos \varphi_1}{\sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_e - \cos \varphi_1)^2}} \quad (3)$$

или

$$\sin \varphi_2 = \frac{\lambda_e - \cos \varphi_1}{\lambda_2},$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{\sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_e - \cos \varphi_1)^2}}{\lambda_2} \quad (4)$$

Из соотношений (3) или (4) находим угол φ_2 :

$$\varphi_2 = \arcsin \left[(\lambda_e - \cos \varphi_1) / \lambda_2 \right].$$

Функция положения точки С ползуна 3 соответствует выражению

$$Y_C = L_1 \left[\sin \varphi_1 + \sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_e - \cos \varphi_1)^2} \right] \quad (5)$$

Кинематические передаточные функции получаем дифференцированием соотношений (3) - (5) по обобщенной координате φ_1 .

Передаточные отношения U_{21} угловых скоростей шатуна и кривошипа определяем из выражения

$$U_{21} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{d \left[\arcsin \left(\frac{\lambda_e - \cos \varphi_1}{\lambda_2} \right) \right]}{d\varphi_1} = \frac{\sin \varphi_1}{\lambda_2 \sqrt{1 - \left[\frac{\lambda_e - \cos \varphi_1}{\lambda_2} \right]^2}}$$

или окончательно

$$U_{21} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{\sin \varphi_1}{\sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_e - \cos \varphi_1)^2}} = \frac{\sin \varphi_1}{\lambda_2 \cos \varphi_2}. \quad (6)$$

Передаточная функция скорости точки С на ползуне

$$V_{qc} = \frac{V_c}{W_1} = \frac{dY_c}{d\varphi_1} = L_1 \left[\cos \varphi_1 - \frac{\sin \varphi_1 (\lambda_e - \cos \varphi_1)}{\sqrt{\lambda_2^2 - (\lambda_e - \cos \varphi_1)^2}} \right] \quad (7)$$

или

$$V_{qc} = L_1 \left[\cos \varphi_1 - \frac{\sin \varphi_1 \sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} \right] = L_1 \frac{\cos(\varphi_1 + \varphi_2)}{\cos \varphi_2}. \quad (8)$$

Угловое ускорение шатуна 2:

$$\varepsilon_2 = \frac{dW_2}{dt} = \frac{d(W_1 U_{21})}{dt} = U_{21} \frac{dW_1}{dt} + W_1 \frac{dU_{21}}{dt} \quad (9)$$

или

$$\varepsilon_2 = U_{21} \varepsilon_1 + W_1^2 \frac{dU_{21}}{d\varphi_1}. \quad (10)$$

Передаточная функция углового ускорения шатуна 2 определится соотношением:

$$\frac{\varepsilon_2}{W_1^2} = U_{21} \left(\frac{\varepsilon_1}{W_1^2} \right) + \frac{dU_{21}}{d\varphi_1} = U_{21} \left(\frac{\varepsilon_1}{W_1^2} \right) + \varepsilon_{q2}. \quad (11)$$

где

$$\varepsilon_{q2} = \frac{dU_{21}}{d\varphi_1} = \frac{d \left(\frac{\sin \varphi_1}{\lambda_2 \cos \varphi_2} \right)}{d\varphi_1} = \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 U_{21}}{\lambda_2 \cos^2 \varphi_2} = \frac{1}{\lambda_2 \cos \varphi_2} \left(\cos \varphi_1 + \frac{\sin^2 \varphi_1 \sin \varphi_2}{\lambda_2 \cos \varphi_2} \right)$$

Окончательно получаем:

$$\frac{\varepsilon_2}{W_1^2} = \frac{1}{\lambda_2 \cos \varphi_2} \left[\frac{\varepsilon_1}{W_1^2} \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1 + \frac{\sin^2 \varphi_1 \sin \varphi_2}{\lambda_2 \cos^2 \varphi_2} \right]. \quad (12)$$

Отношение ускорения a_c к квадрату угловой скорости W_1 точки С на ползуне равно

$$\frac{a_c}{W_1^2} = \frac{L_1}{\cos \varphi_2} \left[\frac{\varepsilon_1}{W_1^2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + \sin(\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{\sin^2 \varphi_1}{\lambda_2 \cos^2 \varphi_2} \right]. \quad (13)$$

Синусный механизм. Кинематическая схема синусного механизма приведена на рис. 2.

Синусный механизм - это механизм, кривошип 1 которого при вращении на угол φ_1 перемещает ползун 3 на расстояние, равное

$$X_3 = L_1 \sin \varphi_1$$

Для определения кинематики синусного механизма за начальное выбрали правое горизонтальное положение кривошипа и угол поворота против часовой стрелки (рис. 3). Тогда функция положения ползуна 3 соответствует выражению

$$X_3 = L_1(1 - \cos \varphi_1), \quad (14)$$

$$X_{32} = L_1 \sin \varphi_1.$$

Для определения передаточного отношения механизма продифференцируем соотношение (13)

$$V_3 = \frac{dX_3}{dt} = \frac{dX_3}{d\varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} = W_1 \frac{dX_3}{d\varphi_1}, \quad (15)$$

где $d\varphi/dt = W_1$ известно, тогда

$$U_{31} = \frac{dX_3}{d\varphi_1} = \frac{dX_3}{dt} \cdot \frac{dt}{d\varphi_1} = \frac{V_3}{W_1} = L_1 \sin \varphi_1. \quad (16)$$

Скорость звена 3 будет равна:

$$V_3 = \frac{dX_3}{dt} = W_1 L_1 \sin \varphi_1. \quad (17)$$

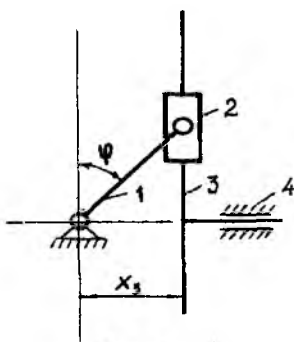


Рис. 2.

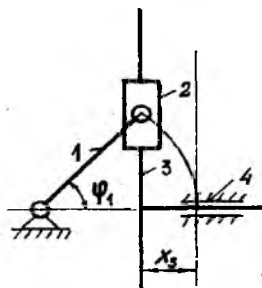


Рис. 3.

Относительная скорость камня 2

$$V_{32} = W_1 L_1 \cos \varphi_1,$$

а ускорения звеньев, соответственно:

$$a_3 = \frac{d^2 X_3}{dt^2} = W_1^2 L_1 \cos \varphi_1,$$

$$a_{32} = \frac{d^2 X_{32}}{dt^2} = W_1^2 L_1 \sin \varphi_1. \quad (18)$$

Однако, изменение угла наклона α (рис. 4) направляющего камень 2 относительно ползуна 3 дало положительные результаты при исследовании.

Рассмотрим синусный механизм, имеющий ползун с углом α (рис. 4). Направляющие 4 ползуна 3 наклонены относительно системы координат Ox^0y^0 под углом α . Целесообразно выбрать новую систему координат

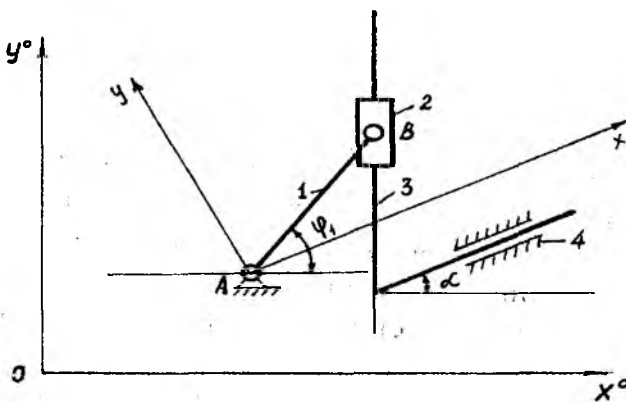


Рис. 4.

АХУ, начало А которой совмещено с осью вращения кривошипа 4 ползуна 3. При этом длину перемещения X_3 ползуна в зависимости от угла наклона α определяем по формуле:

$$\begin{aligned} \frac{dX_3}{dt} &= W_1 L_1 \sin \varphi_1, \\ X_3 &= \frac{L_1(1 - \cos \varphi_1)}{\sin \alpha}. \end{aligned} \quad (19)$$

Относительное перемещение камня

$$X_{32} = \frac{L_1 \sin \varphi_1}{\sin \alpha}.$$

Передаточное отношение механизма

$$U_{31} = L_1 \left(\sin \varphi_1 + \frac{\cos \varphi_1}{\operatorname{tg} \alpha} \right).$$

Скорости выходного и передаточного звеньев V_3 и V_{32} определяются соответственно следующим образом:

$$\begin{aligned} V_3 &= W_1 L_1 \left(\sin \varphi_1 + \frac{\cos \varphi_1}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \\ V_{32} &= W_1 L_1 \frac{\cos \varphi_1}{\sin \alpha}. \end{aligned} \quad (20)$$

Ускорения звеньев будут равны:

$$\begin{aligned} a_3 &= W_1^2 L_1 \left(\cos \varphi_1 - \frac{\sin \varphi_1}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \\ a_{32} &= W_1^2 L_1 \frac{\sin \varphi_1}{\sin \alpha}. \end{aligned} \quad (21)$$

Угол наклона α ползуна 3 данного механизма может изменяться от 0° до 180° . Но механизм работает только при определенном значении угла α . Вблизи к 0° и 180° механизм не может работать, так как из-за большой силы трения механизм заклинивается. Это дает возможность увеличить длину перемещения X_3 ведомого звена до максимального значения. На основе такой возможности механизм можно использовать в машинах и устройствах, где требуется регулируемая длина перемещения ведомого звена.

На рис. 5. показана конструктивная схема синусного МПС с механизмом регулирования угла наклона, где ползун состоит из двух частей [1]: самого ползуна и расположенной внутри него регулируемой части ползуна, выполненной в виде круга. Поворачивая регулируемую часть ползуна, можно регулировать угол наклона, и тем самым длину хода ползуна.

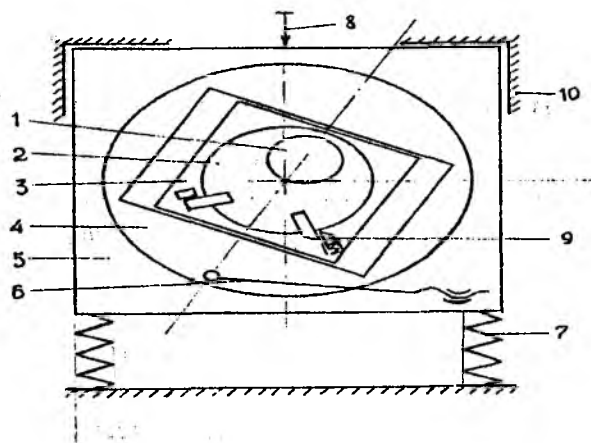


Рис. 5. Конструктивное выполнение синусного МПС с механизмом регулирования угла наклона: 1 - кривошип; 2 - шатун; 3- камень; 4 - регулируемая часть ползуна; 5 - ползун; 6, 8, 9 - механизмы регулирования угла, включения, отключения; 7 - упругий элемент; 10 - основание.

Механизм данной конструкции может быть применен в прессах, где стали широко использовать механизмы с круговыми звеньями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токтакунов Ж.Ш. Синусный механизм переменной структуры.// Материалы Международной конференции "Механизмы переменной структуры и виброударные машины". –Бишкек: Кыргызстан, 1999.