

УДК 621.73

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДВУХОДОВОГО КРИВОШИПНО-КОЛЕННОГО МЕХАНИЗМА МЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕССА

Гутько Ю.И., д.т.н., проф.; Рей М.Р., аспирант

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

91034, Украина, г. Луганск, кв. Молодёжный, 20а. Кафедра «Технология машиностроения» E-mail: an_mitsyk@mail.ru

У поданій статті в результаті проведеного кінематичного розрахунку двоходового кривошипно-колінного механізму отримана аналітична залежність швидкості повзуна від кута повороту ведучого кривошипа.

Ключевые слова: кривошипно-колінний механізм, кут повороту, кривошип

In the article the analytical dependence for determination of slide block speed in the function of the turning angle of driving crank has been received as a result of the conducted kinematical analysis of two-stroked crank-and-bend mechanism.

Key words: crank-and-bend mechanism , driving crank, turning angle

Введение. Механические прессы с двуходовым кривошипно-коленным механизмом являются распространенным типом кузнечно-прессового оборудования [1]. Недостаток конструкции кривошипно-коленного механизма – низкая долговечность штампов механического пресса вследствие продолжительного времени силового контакта горячего металла со штампами. Для устранения указанного недостатка авторами разработана принципиальная схема двуходового кривошипно-коленного механизма (рис.1). При положении ползуна в крайнем нижнем положении ось ведущего кривошипа параллельна осям стержней коленного механизма и образует прямой угол с осью шатуна. Это приводит к повышению долговечности штампов вследствие меньшего времени силового контакта горячего металла со штампами. Для определения крутящего момента на главном валу пресса необходимо знать зависимость скорости ползуна от функции угла поворота ведущего кривошипа 1. Анализ технической литературы не выявил такого решения для двуходового кривошипно-коленного механизма не обнаружено.

Цель работы. Провести кинематический расчет двуходового кривошипно-коленного механизма пресса с целью определения скорости ползуна в зависимости от угла поворота ведущего кривошипа.

Материалы и результаты исследования. Проведем кинематический расчет двуходового кривошипно-коленного механизма механического пресса (рис.1) с использованием аналитического метода представленного в [2], по определению положений звеньев механизма шарнирного четырехзвенника.

Составляем векторное уравнение:

$$\vec{OA} + \vec{S} = \vec{l}_1. \tag{1}$$

Проектируем векторное уравнение на оси координат OX и OY:

$$\begin{aligned} l_2 \cos \alpha_2 + S \cos(360 - \varphi_S) &= l_1, \\ l_2 \sin \alpha_2 - S \sin(360 - \varphi_S) &= 0, \end{aligned} \tag{2}$$

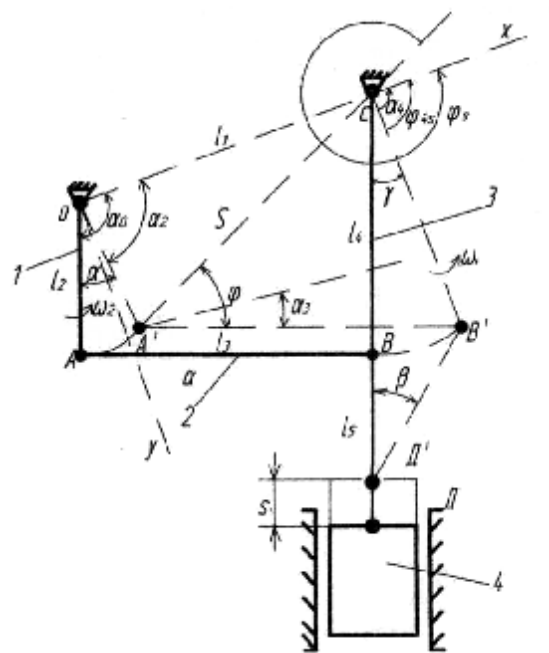
после преобразований имеем:

$$l_2 \cos \alpha_2 + S \cos \varphi_S - l_1 = 0, \tag{3}$$

$$l_2 \sin \alpha_2 + S \sin \varphi_S = 0. \tag{4}$$

Из уравнений (3) и (4) получаем:

$$\operatorname{tg} \varphi_S = \frac{-l_2 \sin \alpha_2}{-l_2 \cos \alpha_2 + l_1}. \tag{5}$$



1 – ведучий кривошип, 2 – шатун, 3 – коленный механизм, 4 – ползун

Рисунок 1 – Двуходовой кривошипно-коленный механизм механического пресса

Из уравнения (4) имеем:

$$S = -\frac{l_2 \sin \alpha_2}{\sin \varphi_S}. \quad (6)$$

Рассматриваем треугольник $A'B'C$. Согласно теореме косинусов получаем два уравнения:

$$l_3^2 = l_4^2 + S^2 - 2l_4S \cos(\pi - \varphi_{4S}), \quad (7)$$

$$l_4^2 = l_3^2 + S^2 - 2l_3S \cos \varphi_{3S},$$

после преобразований получаем:

$$l_3^2 = l_4^2 + S^2 - 2l_4S \cos \varphi_{4S}, \quad (8)$$

$$l_4^2 = l_3^2 + S^2 - 2l_3S \cos \varphi_{3S}. \quad (9)$$

Из уравнений (8) и (9) находим углы j_{3S} и j_{4S} :

$$\varphi_{3S} = \arccos \frac{l_3^2 - l_4^2 - S^2}{2l_3S}, \quad (10)$$

$$\varphi_{4S} = \arccos \frac{l_3^2 - l_4^2 - S^2}{2l_4S}. \quad (11)$$

Далее имеем:

$$\varphi_{4S} = \alpha_4 - \varphi_S, \quad (12)$$

$$\varphi_{3S} = \alpha_3 - \varphi_S, \quad (13)$$

откуда,

$$\alpha_4 = \varphi_{4S} + \varphi_S, \quad (14)$$

$$\alpha_3 = \varphi_{3S} + \varphi_S. \quad (15)$$

Из этого следует, если заданы длины звеньев l_1, l_2, l_3, l_4 и угол поворота ведущего кривошипа 1, то для каждого положения шатуна 2 могут быть определены углы α_3 и α_4

Находим функцию положения звена CB' коленного механизма 3.

Подставляем в уравнение (14) значения φ_{4S} и j_S из уравнений (5) и (11):

$$\alpha_4 = \varphi_{4S} + \varphi_S = \arccos \frac{l_3^2 - l_4^2 - S^2}{2l_3S} + \arctg \frac{-l_2 \sin \alpha_2}{l_2 \cos \alpha_2 + l_1}. \quad (16)$$

Значение S можно определить из треугольника OAC

$$S = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \alpha_2}. \quad (17)$$

Тогда,

$$\alpha_4 = \arccos \frac{l_3^2 - l_4^2 - l_1^2 - l_2^2 + 2l_1l_2 \cos \alpha_2}{2l_4 \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \alpha_2}} + \arctg \frac{-l_2 \sin \alpha_2}{-l_2 \cos \alpha_2 + l_1}, \quad (18)$$

где

$$\alpha_2 = \alpha_0 - \alpha, \quad (19)$$

$$\gamma = \alpha_0 - \alpha_4. \quad (20)$$

Выражение для перемещения ползуна S_1 будет иметь вид:

$$S_1 = l_4 + l_5 - l_4 \cos \gamma - l_5 \cos \beta, \quad (21)$$

или

$$S_1 = l_4 [(1 - \cos \gamma) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \beta)], \quad (22)$$

где $\lambda = \frac{l_4}{l_5}$ – коэффициент кратности.

Из рис.1 следует, что

$$l_4 \sin \gamma = l_5 \sin \beta,$$

или

$$\sin \beta = \lambda \sin \gamma, \quad (23)$$

а $\cos \beta$ можно представить в виде:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - I^2 \sin^2 \gamma}. \quad (24)$$

Тогда,

$$S_1 = R[(1 - \cos \gamma) + \frac{1}{I} (1 - \sqrt{1 - I^2 \sin^2 \gamma})], \quad (25)$$

Для практических расчетов, с учетом разложения квадратного корня по биному Ньютона, применяют следующее уравнение хода ползуна 1 [1]:

$$S_1 = R[1 - \cos \gamma + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \gamma],$$

или

$$S_1 = R[1 - \cos \gamma + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\gamma)]. \quad (26)$$

Если угол поворота коленного механизма определить как

$$\gamma = \omega_4 t, \quad (27)$$

то из этого следует

$$S_1 = R[1 - \cos w_4 t + \frac{1}{4}(1 - \cos 2w_4 t)], \quad (28)$$

первая производная по времени dt будет скоростью ползуна

$$V_1 = \frac{dS_1}{dt} = R w_4 (\sin w_4 t + \frac{1}{2} \sin 2w_4 t). \quad (29)$$

Тогда выражение для скорости ползуна V_1 в функции угла поворота g принимает вид:

$$V_1 = R w_4 (\sin g + \frac{1}{2} \sin 2g). \quad (30)$$

Угол g определяется из формулы (20). Для определения угловой скорости W_4 составляем векторное уравнение замкнутости контура $OA'B'C$ [2]:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 = \vec{l}_4. \quad (31)$$

Проектируем это уравнение на оси Ox и Oy

$$\begin{aligned} -l_1 + l_2 \cos a_2 + l_3 \cos a_3 &= l_4 \cos a_4, \\ l_2 \sin a_2 + l_3 \sin a_3 &= l_4 \sin a_4. \end{aligned} \quad (32)$$

Определяем аналоги угловых скоростей W_3 и W_4 , дифференцируя уравнения (32) по координате a_2 :

$$\begin{aligned} -l_2 \sin a_2 - l_3 \sin a_3 \frac{da_3}{da_2} &= -l_4 \sin a_4 \frac{da_4}{da_2}, \\ l_2 \cos a_2 + l_3 \cos a_3 \frac{da_3}{da_2} &= l_4 \cos a_4 \frac{da_4}{da_2}. \end{aligned} \quad (33)$$

Учитывая то, что аналог угловой скорости W_3 представляется в виде $U_3 = \frac{da_3}{da_2}$, а аналог угловой скорости W_4 в виде $U_4 = \frac{da_4}{da_2}$, имеем:

$$\begin{aligned} l_2 \sin a_2 + U_3 l_3 \sin a_3 &= U_4 l_4 \sin a_4, \\ l_2 \cos a_2 + U_3 l_3 \cos a_3 &= U_4 l_4 \cos a_4. \end{aligned} \quad (34)$$

Величины U_3 и U_4 , согласно [2], называют пе-

редаточными отношениями угловых скоростей ω_3 и ω_4 . Так для U_4

$$U_4 = \frac{w_4}{w_2}. \quad (33)$$

Учитывая преобразования, приведенные в [2], имеем:

$$l_2 \sin(a_2 - a_3) = U_4 l_4 \sin(a_4 - a_3), \quad (36)$$

отсюда следует, что

$$U_4 = \frac{l_2 \sin(a_2 - a_3)}{l_4 \sin(a_4 - a_3)}. \quad (37)$$

Тогда формула для определения W_4 имеет вид

$$w_4 = w_2 U_4 = w_2 \frac{l_2 \sin(a_2 - a_3)}{l_4 \sin(a_4 - a_3)}. \quad (38)$$

Окончательная формула для определения V_1 имеет вид:

$$\begin{aligned} V_1 = R w_2 \frac{l_2 \sin(a_2 - a_3)}{l_4 \sin(a_4 - a_3)} \left[\sin g + \frac{1}{2} \sin 2g \right], \\ \text{где } a_3 = \arccos \frac{l_3^2 - l_4^2 - S^2}{2l_3 S} + \\ + \arctg \left[\frac{-l_2 \sin(a_0 - a)}{-l_2 \cos(a_0 - a) + l_1} \right]. \end{aligned} \quad (39)$$

Углы a_2 и a_4 определяются из формул (19) и (18).

Полученная аналитическая зависимость по определению скорости ползуна применяется при кинематическом расчете двуходового кривошипно-коленного механизма механического пресса.

Выводы. В результате проведенного кинематического расчета двуходового кривошипно-коленного механизма механического пресса получена аналитическая формула по определению скорости ползуна в функции угла поворота ведущего кривошипа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Рей Р.И. Монятовский С.С. Кузнечно-штамповочное оборудование. Пресса кривошипные.—Луганск: изд-во ВНУ, 2000. – 216с.
2. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов: Учебное пособие для ВУЗОВ. – М.: Наука, 1988. – 640 с.

Статья поступила 20.10.2006 г.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Саленком О. Ф.