УДК 621.793

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ С СОСТАВНЫМИ ВОДИЛАМИ

Саидов М.Х., Исоев У.П., Саидамиров С.М., Валиев С.З.

Ключевые слова: *планетарный механизм, скоростной режим, кинетическая энергия, радиус, кинетической пары.*

Для определения кинематической энергии и приведенного момента инерции отдельных звеньев планетарного фрикционного механизма с составным водилом используем уравнения Лагранжа II рода. На основе данного уравнения составлены дифференциальные уравнения движения планетарных механизмов привода некоторых рабочих органов сельскохозяйственных машин. Целью поставленной задачи является численное решение дифференциальных уравнении движения планетарных механизмов привода рабочих органов машин с помощью ЭВМ.

С этой целью, на рисунке приведена расчетная схема планетарного фрикционного механизма с составным водилом, где ℓ – длина направляющей кулисы; Q – радиус составного водила; С – центр масс направляющей; Д- центр масс кулисы. Данная схема соответствует механизмов привода шпиндельного барабана хлопкоуборочных машин 14ХВ -2,4А, привода ножа режущего аппарата комбайна СК-5, привода чеканочных машин и опрыскивателей с целью дефолиации хлопчатника и борьба с сельскохозяйственных вредителей, и механизм привода ножа сеноуборочных машин.

Для определения кинетической энергии определяем кинетические энергии всех звеньев механизма. С этой целью, используя некоторые обозначения получаем зависимости приведенного момента инерции отдельных звеньев.

Переменную длину водила обозначим через $O_2B = \rho$, длина между осью вращения кулисы и ползуном - $O_2A = \rho - \ell$, угол поворота составного водила - ψ, угол поворота ведущего звена - φ_1, радиус ведущего звена через R_1.

С помощью известных выражении для определение кинетической энергии сателлита [1, 2], использованием следующих значении: m_1 – масса сателлита, J_1 – момент инерции сателлита, получаем следующее:

$$T_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \left(\dot{X}_B^2 + \dot{Y}_B^2\right) + \frac{1}{2} \cdot J_1 \cdot \frac{\left(\dot{X}_B^2 + \dot{Y}_B^2\right)}{r^2}. \quad (1)$$

Значения X_B^2 и Y_B^2 определяются следующими выражениями

$$\begin{cases} X_B = \rho \cdot cos\psi + a, \\ Y_B = \rho \cdot sin\psi. \end{cases} \quad (2)$$

Дифференцируя выражении X_B^2 и Y_B^2 по времени получим значения для проекции скорости точки С на оси координат OX и OY:

$$\begin{cases} \dot{X}_B = \dot{\rho} \cdot cos\psi - \dot{\psi} \cdot sin\psi, \\ \dot{Y}_B = \dot{\rho} \cdot sin\psi + \dot{\psi} \cdot \rho \cdot cos. \end{cases}$$

Для определения кинетической энергии сателлита подставляем выражения $\dot{X}_B$ и $\dot{Y}_B$ в (1)

$$T_1 = 0{,}5 \cdot m_1 \cdot \left[\left(\dot{\rho} \cdot cos\psi - \dot{\psi} \cdot sin\psi\right)^2 + \left(\dot{\rho} \cdot sin\psi + \dot{\psi} \cdot \rho \cdot cos\right)^2\right] +$$
$$+0{,}5 \cdot \frac{J_1}{r^2} \cdot \left[\left(\dot{\rho} \cdot cos\psi - \dot{\psi} \cdot sin\psi\right)^2 + \left(\dot{\rho} \cdot sin\psi + \dot{\psi} \cdot \rho \cdot cos\right)^2\right]. \quad (3)$$

Формула кинетической энергии для направляющей кулисы отличается от формулы кинетической энергии сателлита. Для направляющей кулисы обозначаем значения массы и центральный момент инерции через m_2 и J_2 и получаем следующее

$$T_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot \left(\dot{X}_C + \dot{Y}_C\right) + \frac{1}{2} J_2 \cdot \dot{\psi}^2 \quad (4)$$

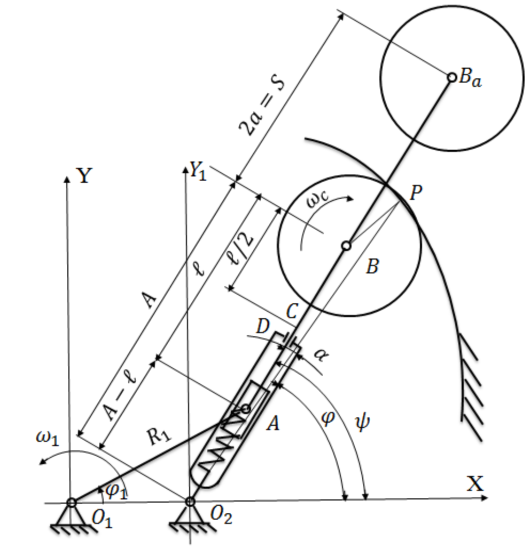

Рис.- Планетарный фрикционный механизм

Для вычисления кинетической энергии направляющей кулисы определяем декартовые координаты точки C:

$$\begin{cases} X_C = (\rho - 0{,}5 \cdot \ell) \cdot cos\psi, \\ Y_C = (\rho - 0{,}5 \cdot \ell) \cdot sin\psi. \end{cases} \qquad (5)$$

После дифференцирования формулы (5) получим следующее

$$\begin{cases} \dot{X}_C = \dot{\rho} \cdot cos\psi - (\rho - 0{,}5 \cdot \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot sin\psi, \\ \dot{Y}_C = \dot{\rho} \cdot sin\psi + (\rho - 0{,}5 \cdot \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot \rho \cdot cos. \end{cases} \qquad (6)$$

Возводя полученные соотношения в квадрат, после складывания получаем

$$V_C^2 = \left[(\rho - \ell) \cdot \dot{\psi}\right]^2 + \dot{\rho}^2. \qquad (7)$$

С учетом вышеизложенных, для выражения кинетической энергии направляющей кулисы (4) окончательно получаем следующей формулы

$$T_2 = 0{,}5 \cdot m_2 \cdot \left\{\left[\dot{\rho} \cdot cos\psi - (\rho - 0{,}5 \cdot \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot sin\psi\right]^2 + \right.$$
$$\left. + \left[\dot{\rho} \cdot cos\psi - (\rho - 0{,}5 \cdot \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot sin\psi\right]^2\right\} + 0{,}5 \cdot J_2 \cdot \dot{\psi}^2. \qquad (8)$$

Для определения кинетической энергии ползуна обозначим масса ползуна через m_3: $T_3 = \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot \rho^{-2} + \frac{1}{2} \cdot J_3 \cdot \dot{\psi}^2.$ (9)

Для определения кинетической энергии ведущего звена и кулисы используем обозначения для моментов инерции ведущего звена - J_4 и J_5 и проекции скорости точки А на оси ОХ и ОУ - X_A и Y_A:

$$T_4 = \frac{1}{2} \cdot J_4 \cdot \dot{\psi}^2,$$

$$T_5 = \frac{1}{2} \cdot J_5 \cdot \left(\frac{\dot{X}_A^2 + \dot{Y}_A^2}{R_1^2}\right), \qquad (10)$$

Проекции скорости точки А на оси ОХ и ОУ определяется следующими выражениями

$$\begin{cases} X_A = a + (\rho - \ell) \cdot cos\psi, \\ Y_A = (\rho - \ell) \cdot sin\psi. \end{cases} \qquad (11)$$

Дифференцируя выражения проекции скорости точки А на оси ОХ и ОУ по времени получим:

$$\begin{cases} \dot{X}_A = \dot{\rho} \cdot cos\psi - (\rho - \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot sin\psi, \\ \dot{Y}_A = \dot{\rho} \cdot sin\psi + (\rho - \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot \rho \cdot cos. \end{cases} \qquad (12)$$

После преобразования для кинетической энергии ведущего звена и кулисы получаем следующие выражения

$$T_4 = 0{,}5 \cdot J_4 \cdot \dot{\psi}^2,$$
$$T_2 = 0{,}5 \cdot \frac{J_5}{R_1^2} \cdot \left\{\left[\dot{\rho} \cdot cos\psi - (\rho - \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot sin\psi\right]^2 + \right.$$
$$\left. + \left[\dot{\rho} \cdot cos\psi + (\rho - \ell) \cdot \dot{\psi} \cdot sin\psi\right]^2\right\}. \qquad (13)$$

Для кинетической пары «составное водило - сателлит» определяем значение полной кинетической энергии:

$$T = (m_2 + 0{,}5m_3 + 0{,}5J_2 \cdot r^{-2} + 0{,}5J_5 \cdot R_1^{-2}) \cdot \dot{\rho}^2 + (m_2 + 0{,}5J_2 \cdot r^{-2}) \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \rho^2 +$$
$$+ 0{,}5J_5 \cdot R_1^{-2}(\rho - \ell)^2\dot{\psi}^2 + 0{,}5m_2(\rho - 0{,}5\ell)^2 \cdot \dot{\psi}^2 + 0{,}5 \cdot J_4 \cdot \dot{\psi}^2. \qquad (14)$$

Приведенный момент инерции $J_{\text{пр}} \cdot \dot{\psi}^2$ кинематической пары «составное водило – сателлит» является переменным и меняется от 2π периодически по ψ:

$$J_{\text{пр}} = J_0 + \left[\frac{m_2}{12} + \frac{3}{2}m_3 + m_3\right] \cdot \rho^2 \cdot \left(\frac{d\psi}{d\varphi}\right)^2 + 2 \cdot m_2 \cdot \rho \cdot \ell \cdot \left(\frac{d\psi}{d\varphi_1}\right)^2 +$$
$$+ \frac{3}{2} \cdot m_3 \cdot \left(\frac{d\rho}{d\varphi_1}\right)^2 + \frac{1}{4} \cdot m_2 \cdot \ell^2 \cdot \left(\frac{d\psi}{d\varphi_1}\right)^2 + m_4 \cdot \left(\frac{d\rho}{d\varphi_1}\right)^2. \qquad (15)$$

После некоторых преобразований, используя величину $J_{\text{пр}}$ выражения (14) перепишем в виде

$$T = \frac{1}{2} \cdot J_{\text{пр}} \cdot \dot{\psi}^2. \qquad (16)$$

Или кинетическую энергию можно определить по следующей формуле:

$$T = 0{,}55 \cdot J_0 \cdot \dot{\varphi}_1^2 + 0{,}5 \cdot J_0 \cdot \dot{\psi}_1^2 + 0{,}5 \cdot J_0 \cdot \dot{\varphi}_{\text{C}}^2 + (0{,}5 \cdot m_2 + 0{,}5 \cdot m_4) \cdot \rho^2 +$$
$$+ [0{,}5 \cdot m_3 \cdot (\rho - 0{,}5 \cdot \ell)^2 + 0{,}5 \cdot m_4 \cdot \rho^2] \cdot \dot{\psi}^2. \qquad (17)$$

Для данной формулы выражение $\dot{\varphi}_{\text{C}}$ определяем следующей формулой

$$\dot{\varphi}_{\text{C}} = \frac{\sqrt{\left(\rho \cdot \dot{\psi}\right)^2 + (\dot{\rho})^2}}{r}.$$

В конечном итоге, подставляя это выражение в формуле (17) получим общую формулу для определения кинетической энергии планетарно – фрикционного механизма с составным водилом:

$$T = 0{,}7 \cdot J_0 \cdot \dot{\varphi}_1^2 + \left(\frac{m_3}{24} + 0{,}75 \cdot m_4 + 0{,}5 \cdot m_3\right) \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \rho^2 -$$
$$- 0{,}5 \cdot m_3 \cdot (\rho \cdot \ell - \ell^2) \cdot \dot{\varphi}^2 + (0{,}5 \cdot m_2 + 0{,}75 \cdot m_4) \cdot \dot{\rho}. \qquad (18)$$

Данная формула (18) широко используется при проектировании механических систем и позволяет определить скоростной режим движения составляющих частей планетарно – фрикционного механизма с составным водилом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов С.А. Интенсификация технологических процессов зерноуборочных машин. /Доклады ТСХА – Вып. 209 – М.,1975.-С.157 – 163
2. Артоболевский И.И. Механизмы современной техники. Т. 3. – М.: Наука, 1973.- С. 110

АННОТАТСИЯ
ТАҲЛИЛИ ДИНАМИКИИ МЕХАНИЗМҲО БО ВОДИЛАҲОИ ТАРКИБӢ

Бо истифода аз муодилаи Лагранж тартиби II энергияи кинетикӣ ва моменти овардашудаи инертсияи звеноҳои алоҳидаи механизми сайёравии фриксионӣ бо водилаи таркибӣ муайян карда шудааст, ки ҳангоми лоиҳакашии системаҳои механикӣ васеъ истифода шуда, имконият медиҳад, то низоми суръати ҳаракати қисмҳои таркибии механизмҳоро муайян созем.

ANNOTATION
DYNAMIC ANALYSIS OF MECHANISMS WITH COMPONENT DRIVES

Using the Lagrange equation of the second kind, the kinematic energy and the reduced moment of inertia of the individual links of the planetary friction mechanism with a composite carrier have been determined, which is widely used in the design of mechanical systems and allows you to determine the speed regime of movement of the constituent parts of mechanisms.

***Key* words:** *planetary gear, speed, kinetic energy, radius, kinetic pair.*