УДК 622.83/85 (575.2)(04)

РАСЧЕТ УГЛА РАСФИКСАЦИИ УДАРНИКА РОТАЦИОННОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА

В.В. Воронкин

Приведен расчет угла расфиксации, который позволяет точно определить зону расфиксации ударника РУМ для обеспечения центрального удара по волноводу.

Ключевые слова: ротационный ударный механизм; угол расфиксации; центральный удар; волновод.

В работе предлагается аналитический метод определения угла расфиксации ротационных ударных механизмов для обеспечения центрального удара по волноводу.

Ротационные ударные механизмы (РУМ) с шарнирно-подвешенным ударником, использующие энергию вращающихся масс, позволяют получать сравнительно высокую энергию единичного удара при малых габаритах, весе и энергоемкости [1, 2].

РУМ состоит из ротора OO_1 (см. рисунок), шарнирно-связанного с ним ударника O_1M, волновода 1,воспринимающего и передающего ударный импульс инструменту, корпуса 2 и фиксатора 3.

Такие механизмы можно отнести к механизмам переменной структуры (с изменяющейся степенью свободы) [3].

В исходном положении ударник I зафиксирован относительно ротора (OO_1) фиксатором 3. Центр масс его смещен в сторону выхода относительно оси ротора O_1 , на начальный угол ψ_0. Это положение звеньев механизма соответствует разгону системы "ротор-ударник" до необходимой скорости вращения ω_0. Затем строго в определенной области разгонной камеры (корпуса 2) срабатывает фиксатор 3, освобождая ударник (OO_1), на который действует центробежная сила. Под действием переменной центробежной силы ударник выходит из положения I, в промежуточное i-е положение. В этот момент происходит перераспределение накопленной системой "ротор-ударник" энергии между ротором и ударником. При указанном перераспределении энергии внутри системы ударник приобретает изменяющуюся по величине угловую скорость $\left(\dot\psi_1 = \omega_{2i}\right)$относительно оси O_1, а ротор вращается с изменяющейся угловой скоростью $\left(\dot\varphi_1 = \omega_{1i}\right)$относительно оси вращения O. Перемещаясь в указанном направлении ударник (O_1M) совершает сложное движение, когда переносное и относительное движение – вращательное.

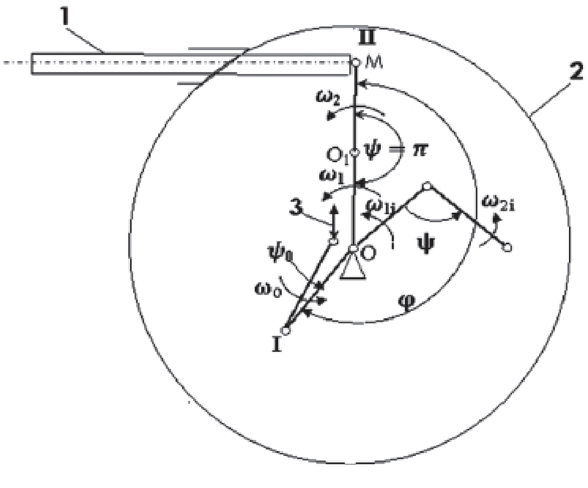

Схема ротационного ударного механизма

В положении II происходит соударение ударника с волноводом. В этот момент времени ударник перемещается на угол $\psi = \pi$, и вращается с угловой скоростью $\dot\psi = \omega_2$, а ротор на угол φ и вращается с угловой скоростью $\dot\varphi = \omega_1$. Угол φ поворота ротора с момента расфиксации ударника до момента удара является основным параметром РУМ.

Его величину необходимо знать для того, чтобы в нужной зоне установить механизм расфиксации ударника и тем самым обеспечить центральное соударение ударника по волноводу. После удара из-за разности угловых скоростей ударник (O_1M) и ротор (OO_1) сближаются и затем ударник фиксируется в исходном положении. Далее цикл работы РУМ повторяется.

Для аналитического решения исследуемого механизма относительно параметра φ можно использовать канонические уравнения Гамильтона:

$$\dot P_\phi = -\frac{\delta H}{\delta\phi}; \quad \dot\phi = \frac{\delta H}{\delta P_\phi}; \quad \dot P_\psi = -\frac{\delta H}{\delta\psi}; \quad \dot\psi = \frac{\delta H}{\delta P_\psi},$$

где $P_\varphi = \dfrac{\delta T}{\delta\dot\varphi}$ и $P_\psi = \dfrac{\delta T}{\delta\dot\psi}$ – обобщенные импульсы, соответствующие обобщенным координатам φ и ψ.

Функция Гамильтона запишется как

$$H = \sum \frac{\delta T}{\delta\dot q}\dot q - T = \left(\frac{\delta T}{\delta\dot\varphi}\dot\varphi + \frac{\delta T}{\delta\dot\psi}\dot\psi\right) - T,$$

где T – кинетическая энергия системы "ротор-ударник".

Значение угла поворота ротора φ РУМ необходимо знать при $\psi = \pi$.

Кинетическую энергию системы "ротор-ударник" для указанного случая можно определить следующим образом:

$$T = \frac{1}{2}\left(J_1 + ml^2\right)\dot\phi^2 + \frac{1}{2}\left(J_2 + ml_c^{\,2}\right)\left(\dot\psi + \dot\phi\right)^2 + mll_c\dot\phi\left(\dot\psi + \dot\phi\right), \qquad (1)$$

где J_1 и J_2 – моменты инерции ротора и ударника относительно их центров масс; радиус ротора; l_c – расстояние от шарнира O_1 до центра масс ударника; m – масса ударника.

Тогда,

$$P_\varphi = \frac{\delta T}{\delta\dot\varphi} = \left(J_1 + ml^2\right)\dot\varphi^2 + \left(J_2 + ml_c^{\,2}\right)\left(\dot\psi + \dot\varphi\right) + mll_c\dot\varphi\left(\dot\psi + 2\dot\varphi\right)$$

$$P_\psi = \frac{\delta T}{\delta\dot\psi} = \left(J_2 + ml_c^{\,2}\right)\left(\dot\psi + \dot\varphi\right) + mll_c\dot\varphi\,; \; H = \frac{1}{2}\left(J_1 + ml^2\right)\dot\varphi^2 + \frac{1}{2}\left(J_2 + ml_c^{\,2}\right)\left(\dot\psi + \dot\varphi\right)^2 + mll_c\dot\varphi\left(\dot\psi + \dot\varphi\right). \qquad (2)$$

Решение этих уравнений относительно $\dot{\varphi}$ и $\dot{\psi}$, имеет вид:

$$\dot{\varphi} = \frac{\left(J_2 + ml_c^{\ 2}\right)P_\varphi - \left(J_2 + ml_c^{\ 2} + mll_c\right)P_\varphi}{J_1\left(J_2 + ml_c^{\ 2}\right) + J_2ml^2};\ \ \dot{\psi} = \frac{\left[\left(J_1 + ml^2\right) + \left(J_2 + ml_c^{\ 2}\right) + 2mll_c\right] P_\psi - \left[\left(J_2 + ml_c^{\ 2}\right) + mll_c\right]P_\varphi}{J_1\left(J_2 + ml_c^{\ 2}\right) + J_2ml^2}.$$

Для упрощения уравнений введем обозначения:

$$D = J_2 + ml_c^{\ 2};\ \ A_1 = J_1D + J_2ml^2;\ \ b = mll_c;\ \ a_1 = J_1 + ml^2.$$

Тогда можно записать:

$$\dot{\varphi} = \frac{DP_\varphi - (D+b)P_\psi}{A_1};\quad \dot{\psi} = \frac{(a_1 + D + 2b)P_\psi - (D+b)P_\varphi}{A_1}. \tag{3}$$

Подставив формулы (3) в третье уравнение системы (2), имеем:

$$H = \frac{1}{2A_1^{\ 2}}\left\{a_1\left[-D\left(P_\psi - P_\phi\right) - bP_\psi\right]^2 + D\left[b\left(P_\psi - P_\phi\right) + a_1\right]^2 + \left[b\left(-D\left(P_\psi - P_\phi\right)\right) - bP_\psi\right]\left[b\left(P_\psi - P_\phi\right)\right]\right\}. \tag{4}$$

Составим уравнения Гамильтона:

$$\dot{P}_\varphi = -\frac{\delta H}{\delta\varphi} = 0;\ \ \dot{P}_\psi = -\frac{\delta H}{\delta\psi} = 0;\ \ \dot{\varphi} = \frac{1}{2A_1^{\ 2}}\left[\left(2a_1D^2\right)P_\varphi + \left(b^2 - 2a_1D^2 - 3a_1bD\right)P_\psi\right];$$

$$\dot{\psi} = \frac{1}{2A_1^{\ 2}}\left\{\left[b^3 + D\left(b - 4a_1b - b^2 - 2a_1D\right)\right]P_\phi + \left[D\left(b^2 + 2a_1^{\ 2} + 9a_1b - b + 2a_1D\right) + 4a_1b^2\right]P_1\psi\right\}. \tag{5}$$

После интегрирования получим два интеграла системы канонических уравнений:

$$P_\psi = C_1 = const;\quad P_\varphi = C_2 = const. \tag{6}$$

Система уравнений Гамильтона в силу независимости функции H от времени обладает обобщенным интегралом энергии

$$H = h,$$

где постоянная $h = T_0 + \Pi_0$ равна начальному значению полной механической энергии.

Таким образом, система канонических уравнений для рассматриваемого случая $\psi = \pi$ допускает аналитическое решение.

Согласно уравнениям (6), можно написать:

$$P_\varphi^{\ 0} = a_1\dot{\varphi}_0 + D\left(\dot{\varphi}_0 + \dot{\psi}_0\right) + b\left(\dot{\psi}_0 + 2\dot{\varphi}_0\right) = const;\quad P_\psi^{\ 0} = D\left(\dot{\varphi}_0 + \dot{\psi}_0\right) + b\dot{\varphi}_0 = const. \tag{7}$$

Подставляя уравнения (7) в уравнения (5) и интегрируя, получим:

$$\varphi = \frac{1}{2A_1^{\ 2}}\left[2a_1D^2P_\varphi^{\ 0} + \left(b^2 + 2a_1D^2 - 3a_1bD\right)P_\psi^{\ 0}\right]t;$$

$$\psi = \frac{1}{2A_1^{\ 2}}\left\{\left[b^3 + D\left(b - 4a_1b - b^2 - 2a_1D\right)\right]P_\phi^0 + \left[D\left(b^2 + 2a_1^{\ 2} + 9a_1b - b + 2a_1D\right) + 4a_1b^2\right]P_\psi^{\ 0}\right\}t, \tag{8}$$

где $\varphi = \lambda_1 t$ и $\psi = \lambda t$ при $\psi = \pi$; $t = \dfrac{\pi}{\lambda}$; $\varphi = \lambda_1\dfrac{\pi}{\lambda}$. (9)

Разделив каждый член уравнений (8) на J_1, вынеся за скобку $\dot{\varphi}_0$ и обозначив $\tilde{a} = \dfrac{a_1}{J_1}$; $\tilde{D} = \dfrac{D}{J_1}$; $\tilde{b} = \dfrac{b}{J_1}$; $\tilde{\omega}^2 = \dfrac{\dot{\psi}_0}{\dot{\phi}_0}$; $\tilde{\omega}^2 = \dfrac{\dot{\psi}_0}{\dot{\phi}_0}$; $\tilde{B} = \tilde{a} + \tilde{D} - 2\tilde{b}$; $\tilde{C} = \tilde{D} + \tilde{b}$, получим:

$$\varphi = \frac{\left(\tilde{B} + \tilde{C}\tilde{\omega}_2\right)2\tilde{a}\tilde{D}^2 + \left(\tilde{C} + D\tilde{\omega}_2\right)}{\left(\tilde{B} + \tilde{C}\tilde{\omega}_2\right)\left[\tilde{b}^3 + \tilde{D}\left(\tilde{b} - 4\tilde{a}\tilde{b} - \tilde{b}^2 - 2\tilde{a}\tilde{D}\right)\right] + \left(\tilde{C} + \tilde{D}\tilde{\omega}_2\right)} \times \frac{\left(\tilde{b}^3 - 2\tilde{a}\tilde{D}^2 - 3\tilde{a}\tilde{b}\tilde{D}\right)\pi}{\left[\tilde{D}\left(\tilde{b}^2 + 2\tilde{a}^2 + 9\tilde{a}\tilde{b} - \tilde{b} + 2\tilde{a}\tilde{D}\right) + 4\tilde{a}\tilde{b}^2\right]}, \tag{10}$$

где $\tilde{\omega}_2 = \sqrt{\dfrac{\tilde{A}\tilde{B} - \tilde{A}^2}{\tilde{D}\tilde{B} - \tilde{C}^2}}$ – безразмерная величина скорости ударника относительно ротора в момент удара; $\tilde{A} = \tilde{a} + \tilde{D} - 2\tilde{b}\cos\psi_0$, $\psi_0 = (0,5 \div 1)^0$ – начальный угол, характеризующий смещение центра масс ударника в зафиксированном положении.

Уравнение (10) выражает зависимость параметра φ от инерционных параметров $\dfrac{J_2}{J_1}$, $\dfrac{ml^2}{J_1}$, $\dfrac{l_c}{l}$, ψ_0. Кроме того, из уравнения (10) видно, что угол φ не зависит от величины $\dot{\varphi}_0 = \omega_0$ скорости разгона выбранной системы "ротор-ударник".

Расчет угла расфиксации φ по формуле (10) позволяет точно определить зону расфиксации ударника РУМ для обеспечения центрального удара по волноводу.

Литература

1. *Воронкин В.В., Стихановский Б.Н.* Определение параметров ударного механизма // Вопросы проектирования ударных установок (материалы семинаров). М.: Центр научно-исследов. ин-т информ. и технико-экономич. исслед.,1981. С. 50–60.
2. *Воронкин В.В., Горбачев С.Г.* Методика расчета основных параметров электромеханического дюбелезабивателя // Машиноведение: Сб. научн. трудов. Вып. 3. Бишкек: Илим, 2002. С. 45–55.
3. *Воронкин В.В., Анохин А.В., Горбачев С.Г.* Математическая модель ротационной ударной машины с автоматическим механизмом управления // Машиноведение: Сб. научн. трудов. Вып. 5. Бишкек: Илим, 2006. С. 34–44.