

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 “ротатор-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 “ротатор-ударник” энергии между ротором и ударником. При указанном перераспределении энергии внутри системы ударник приобретает изменяющуюся по величине угловую скорость ($\dot{\psi}_1 = \omega_{2i}$) относительно оси O_1 , а ротор вращается с изменяющейся угловой скоростью ($\dot{\phi}_1 = \omega_{1i}$) относительно оси вращения O . Перемещаясь в указанном направлении ударник (O_1M) совершает сложное движение, когда переносное и относительное движение – вращательное.

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 $\dot{\phi} = \omega_1$. 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 $P_\phi = \frac{\delta T}{\delta \dot{\phi}}$ и $P_\psi = \frac{\delta T}{\delta \dot{\psi}}$ – обобщенные импульсы, соответствующие обобщенным координатам ϕ и ψ .

Функция Гамильтона запишется как

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

где T – кинетическая энергия системы “ротатор-ударник”.

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

Кинетическую энергию системы “ротатор-ударник” для указанного случая можно определить следующим образом:

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

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,

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

$$P_\psi = \frac{\delta T}{\delta \dot{\psi}} = (J_2 + ml_c^2)(\dot{\psi} + \dot{\phi}) + mll_c\dot{\phi}; \quad H = \frac{1}{2}(J_1 + ml^2)\dot{\phi}^2 + \frac{1}{2}(J_2 + ml_c^2)(\dot{\psi} + \dot{\phi})^2 + mll_c\dot{\phi}(\dot{\psi} + \dot{\phi}). \quad (2)$$

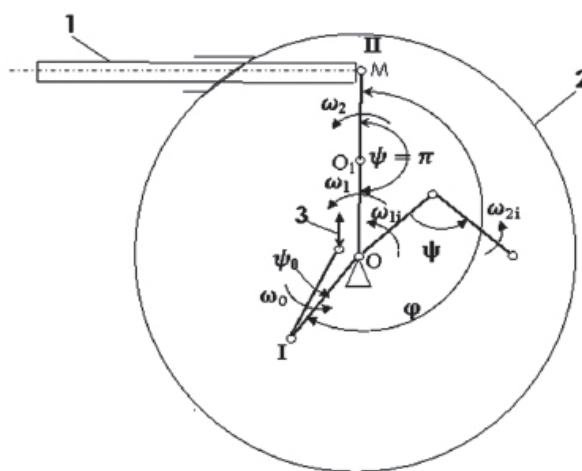


Схема ротационного ударного механизма

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

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

Для упрощения уравнений введем обозначения:

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

Тогда можно записать:

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

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

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

Составим уравнения Гамильтона:

$$\begin{aligned} \dot{P}_\phi &= -\frac{\delta H}{\delta \phi} = 0; \quad \dot{P}_\psi = -\frac{\delta H}{\delta \psi} = 0; \quad \dot{\phi} = \frac{1}{2A_1^2} [(2a_1D^2)P_\phi + (b^2 - 2a_1D^2 - 3a_1bD)P_\psi]; \\ \dot{\psi} &= \frac{1}{2A_1^2} \{ [b^3 + D(b - 4a_1b - b^2 - 2a_1D)]P_\phi + [D(b^2 + 2a_1^2 + 9a_1b - b + 2a_1D) + 4a_1b^2]P_\psi \}. \end{aligned} \quad (5)$$

После интегрирования получим два интеграла системы канонических уравнений:

$$P_\psi = C_1 = const; \quad P_\phi = C_2 = const. \quad (6)$$

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:

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

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

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{2A_1^2} [2a_1D^2P_\phi^0 + (b^2 + 2a_1D^2 - 3a_1bD)P_\psi^0]t; \\ \psi &= \frac{1}{2A_1^2} \{ [b^3 + D(b - 4a_1b - b^2 - 2a_1D)]P_\phi^0 + [D(b^2 + 2a_1^2 + 9a_1b - b + 2a_1D) + 4a_1b^2]P_\psi^0 \}t, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{где } \phi = \lambda_1 t \text{ и } \psi = \lambda t \text{ при } \psi = \pi; \quad t = \frac{\pi}{\lambda}; \quad \phi = \lambda_1 \frac{\pi}{\lambda}. \quad (9)$$

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

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

где $\tilde{\omega}_2 = \sqrt{\frac{\tilde{A}\tilde{B} - \tilde{A}^2}{\tilde{D}\tilde{B} - \tilde{C}^2}}$ – 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 $\frac{J_2}{J_1}$, $\frac{ml^2}{J_1}$, $\frac{l_c}{l}$, ψ_0 . Кроме того, из уравнения (10) видно, что угол ϕ не зависит от величины $\dot{\phi}_0 = \omega_0$ 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 дробилебавителя // 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.