Направление 150400

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Магистерская программа 150400.02

Теория механизмов и машин

Руководитель программы д.т.н., проф. Ванин В. А.

Попова И. В.

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ЛОПАСТИ РОТОРНОЙ ЛОПАСТНОЙ МАШИНЫ ПОСРЕДСТВОМ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Воробьева Ю.В.

ТГТУ, Кафедра «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

Прародителями удара являются сила и перемещение, а характер последствия их действия зависит целиком от условия формирования удара, определяемого жесткостью тел. Если удар неизбежен или необходим, для предотвращения его распространения или снижения действующих сил необходимо ввести в конструкцию элементы, искусственно регулирующие жесткость стыка. В большинстве случаев достаточно учитывать относительную скорость тел к моменту их соприкосновения и характер процесса перехода кинетической энергии в потенциальную энергию деформации. Рассматриваемая далее задача относится к движению пластины в шарнирных элементах роторной машины (рис.1).

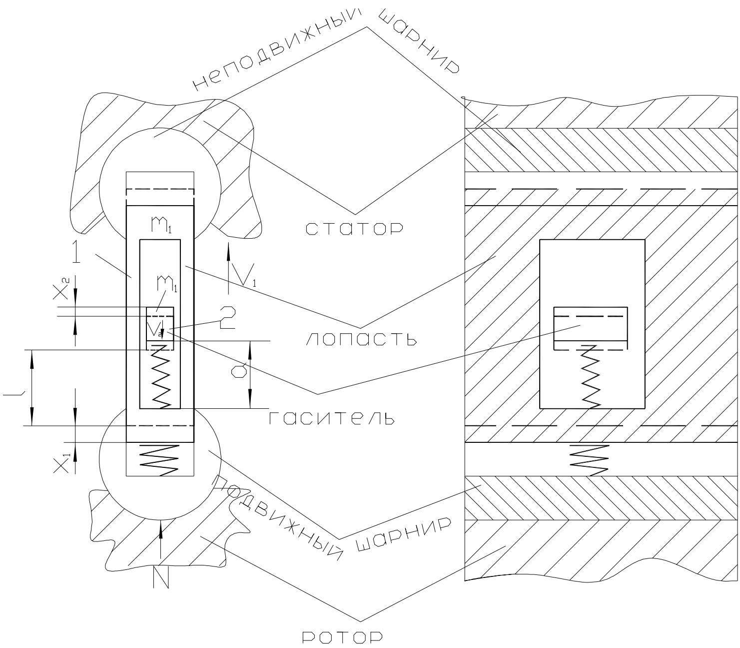

Рис.1

Между двумя шарнирами (подвижным и неподвижным) находится пластина (лопасть) 1, с расположенным внутри гасителем 2. С одной стороны в системе гаситель-пластина и пластина-подвижный шарнир имеется промежуточный упругий элемент (пружина).

Целью задачи является подбор массы гасителя 2 и жесткости пружины гасителя, минимизирующих амплитуду вынужденных колебаний пластины и анализ графиков движения пластины 1 и гасителя 2.

Для нахождения жесткости пружины гасителя и его массы необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + f_1\dot{x}_1 + c_1x_1 + c_2(x_1 - x_2) = F_0 \sin \omega t \\ m_2\ddot{x}_2 + f_2\dot{x}_2 + c_2(x_2 - x_1) = 0 \end{cases} \qquad (1)$$

где c_1,c_2 - жесткости; f_1, f_2 - коэффициенты трения; x_1, x_2 - абсолютные коэффициенты, отсчитываемые от статического положения равновесия; $F_0\sin\omega t$ - периодическая сила, действующая на пластину ротора.

Решение имеет вид (вынужденные колебания):

$$\begin{cases} x_1 = A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t \\ x_2 = A_2 \sin \omega t + B_2 \cos \omega t \end{cases} \qquad (2)$$

Переписав систему (1) в виде

$$\begin{cases} (c_1 + c_2 - m_1\omega^2)A_1 - \omega f_1 B_1 - c_2 A_2 + 0 \cdot B_2 = F_0 \\ f_1 \omega A_1 + (c_1 + c_2 - m_1\omega^2)B_1 + 0 \cdot A_2 - c_2 B_2 = 0 \\ -c_2 A_1 + 0 \cdot B_1 + (c_2 - m_2\omega^2)A_2 - f_2 \omega B_2 = 0 \\ 0 \cdot A_1 - c_2 B_1 + f_2 \omega A_2 + (c_2 - m_2\omega^2)B_2 = 0 \end{cases}$$

вычислим главный определитель системы Δ и два вспомогательных определителя для неизвестных A_1 и B_1, то есть Δ_1 и Δ_2:

$$\left.\begin{aligned} &\Delta = \left[\left(c_1 + c_2 - m_1\omega^2\right)\left(c_2 - m_2\omega^2\right) - c_2^2\right]^2 + \omega^2[\left(c_1 + c_2 - m_1\omega^2\right)f_2^2 + \\ &\left(c_2 - m_2\omega^2\right)^2 f_1^2 + 2 f_1 f_2 c_2^2 + \omega^2 f_1^2 f_2^2]; \\ &\Delta_1 = F_0[\left(c_1 + c_2 - m_1\omega^2\right)\left(c_2 - m_2\omega^2\right)^2 - c_2^2\left(c_2 - m_2\omega^2\right) + \\ &+ \omega^2 f_2\left(c_1 + c_2 - m_1\omega^2\right)]; \\ &\Delta_2 = -F_0\omega\left[f_1\left(c_2 - m_2\omega^2\right)^2 + f_2 c_2^2 + f_1 f_2^2 \omega^2\right]. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Из (3) следует: $A_1 = \dfrac{\Delta_1}{\Delta}; B_1 = \dfrac{\Delta_2}{\Delta} \Rightarrow x_1 = \dfrac{\Delta_1}{\Delta}\sin \omega t + \dfrac{\Delta_2}{\Delta}\cos \omega t$ (4)

Амплитуда колебаний для первой массы m_1 равна

$$A = \frac{\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}}{\Delta}. \qquad (5)$$

Дальнейшее решение задачи состоит в следующем: при заданных параметрах задачи $c_1, f_1, f_2, m_1, m_2, \omega, F_0$ найти такое c_2, чтобы $A \to \min$. Это значение находится из условия $\dfrac{dA}{dc_2} = 0$ с последующим анализом знака производной при переходе через эту точку. Рассмотрим случай, когда $f_1 = 0; f_2 = 0$. В этом случае получаем: $c_2 = m_2\omega^2$.

На рис. 2 видно, что период колебаний гасителя отстает от периода колебаний лопасти на 180^0.

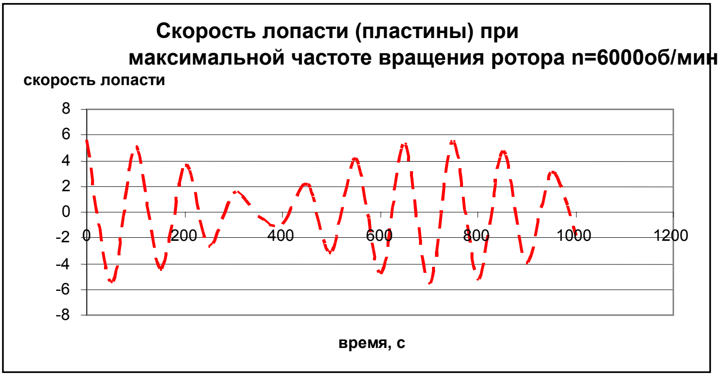

Рис.2

Для нахождения отклонения лопасти от положения статического равновесия обратимся к рис.1. Перед ударом тело массой m_1 и скоростью V_1 приближается к телу массой m_2 (гасителю), который под действием силы инерции движется навстречу телу 1 (лопасти) со скоростью V_2.

Отсчет перемещения тел 1 и 2 производится от положения, соответствующего началу движения. После начала движения длина пружины измениться на величину l:

$$l = a + x_1 - x_2 .$$

Откуда изменение длины (сжатие) пружины:

$$\alpha = a - l = x_2 - x_1 , \quad (6)$$

где x_1, x_2 - перемещения центров тяжести тел, соответственно; l - длина упругого элемента после начала движения.

Сила сопротивления сжатию пружины в общем виде:

$$N = f(\alpha) \qquad (7)$$

В рассматриваемом случае сила сопротивления пропорциональна сжатию:

$$f(\alpha) = c\alpha ,$$

где c - жесткость пружины.

Сила сжатия пружины действует на оба тела, сообщая им ускорения. Вследствие этого скорость тел изменится, и после удара будет иметь значения, для тела 1:

$$V_1 = x_1' = \frac{dx_1}{dt} ;$$

для тела 2:

$$V_2 = x_2' = \frac{dx_2}{dt} .$$

Обозначим, соответственно, ускорения тел:

$$w_1 = \frac{dV_1}{dt} = \frac{d^2x_1}{dt^2} ; \qquad w_2 = \frac{dV_2}{dt} = \frac{d^2x_1}{dt^2} .$$

За положительное направление сил, скоростей, ускорений примем направление первоначальных перемещений тела 2. Тогда дифференциальные уравнения движения тел во время удара примут вид

$$m_1\frac{d^2x_1}{dt^2} = N ; \quad m_2\frac{d^2x_2}{dt^2} = -N .$$

Принимая для простоты, что тело 1 до удара было неподвижно ($V_1 = 0$), а упругий элемент до удара не имел начального сжатия ($\alpha_0 = 0$), и учитывая уравнения (1) и (2), получим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{m_1 d^2x_1}{dt^2} = N \\ \dfrac{m_2 d^2x_2}{dt^2} = -N . \\ N = f(\alpha) \\ x_1 - x_2 = \alpha \end{cases}$$

При начальных условиях: $t = 0$; $x_1 = 0$; $x_2 = 0$; $V_2 = \dfrac{dx_1}{dt}$; $V_1 = \dfrac{dx_2}{dt} = 0$; $\alpha = 0$; $N = 0$.

В результате решения системы получаем

$$t = \int_0^{\alpha} \frac{d\alpha}{V_2{}^2 - 2\dfrac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}\displaystyle\int_0^{\alpha} f(\alpha) d\alpha} . \qquad (8)$$

Скорость V_2 получаем путем дифференцирования первого уравнения системы (2), а затем подставляем в (8) для нахождения времени удара гасителя и лопасти (пластины). Перемещение тел во время удара:

$X_1 = X_2 = m_1 V_2 t / (m_1 + m_2)$.

При подстановке численных параметров, был получен следующий результат: лопасть (пластина) и гаситель отклоняются на $\approx$ 1 мм в противофазе равновесия, что соответствует "минимально" возможному отклонению тел от положения статического равновесия (для лопасти (пластины) - 0,1 $\div$ 6 мм, а для гасителя от 0,1 $\div$ 3 мм).

$m_1 = 0{,}071862$ *êã*; $m_2 = 0{,}002489$ *êã*; $\tilde{n}_1 = 526$ *Í / ì* ; $\tilde{n}_2 = 954$ *Í / ì* ; $F_0 = 4396$ *Í* ; $f_1 = f_2 = 0.001$.