

ПОВЫШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ СТАНКОВ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Повышение динамической жесткости гидроприводов необходимо для решения задач ликвидации резонансных явлений в системе, когда частота внешнего воздействия близка к одной из частот собственных колебаний гидропривода или одного из контуров.

Применение виброгасителей, построенных на основе упругого, инерционного и демпферного элементов, позволяет снизить уровень вынужденных колебаний в гидроприводах металлорежущих станков [1]. Сравнительный анализ эффективности обеих схем присоединения виброгасителей к рабочему органу наиболее целесообразен в тех случаях, когда контур, образующий силовым гидроцилиндром и гидравлическими емкостями его магистралей, является доминирующим в гидроприводе (рис. 1).

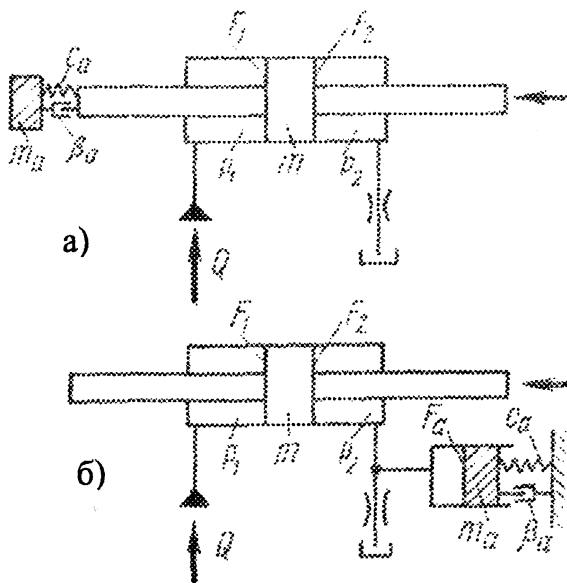


Рис. 1. Схемы присоединения динамических виброгасителей к рабочему органу

Для оценки эффективности присоединения виброгасителя к силовому гидроприводу может быть использована система линейных дифференциальных уравнений, в которой первое и второе уравнение представляют уравнения расходов, третье и пятое — уравнение сил, четвертое и шестое — вспомогательные (1):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{1}{C_1}(-k_{11}x_1 + k_{12}x_2 - F_1x_3 + y_1(t)); \\ \dot{x}_2 = \frac{1}{C_2}(k_{12}x_1 - k_{22}x_2 + F_2x_3); \\ \dot{x}_3 = \frac{1}{m}(F_1x_1) - F_2x_2 - \beta x_3 - c_a x_4 + \beta_a x_5 + c_a x_6 + y_3(t); \\ \dot{x}_4 = x_3; \\ \dot{x}_5 = \frac{1}{m_a}(\beta_a x_3 + c_a x_4 - \beta_a x_5 - c_a x_6); \\ \dot{x}_6 = x_3, \end{cases} \quad (1)$$

где x_1 и x_2 — приращения давлений соответственно p_1 в рабочей и p_2 в обратной полостях цилиндра; x_3 и x_4 — приращения скорости и перемещения рабочего органа; x_5 и x_6 — приращения скорости и перемещения инерционного элемента виброгасителя; C_1 и C_2 гидравлические емкости рабочей и обратной магистралей гидропривода; m — масса рабочего органа; F_1 и F_2 — площади рабочей и обратной полостей цилиндра; $y_{1(t)}$ и $y_{3(t)}$ — переменные составляющие соответственно расхода нагнетания Q_1 и силы сопротивления P ; k_{11} , k_{12} и k_{22} — коэффициенты утечек; C_a , m_a и β_a — жесткость, масса и коэффициент вязкого трения соответственно упругого, инерционного и демпфирующих элементов виброгасителя; β — суммарный коэффициент вязкого трения рабочего органа: $\beta = \beta_n + \beta_a$; β_n и β_a — коэффициенты вязкого трения рабочего органа и демпфирующего элемента виброгасителя.

Исследование влияния переменных составляющих расхода нагнетания и силы сопротивления на колебание скорости рабочего органа и выбор оптимальных параметров виброгасителя (рис. 1, а) может быть произведено при помощи передаточных функций, получаемых при решении системы линейных дифференциальных уравнений в пространстве изображений [2].

Исходная система линейных дифференциальных уравнений для оценки эффективности присоединения виброгасителя согласно схеме рис. 1, б может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{1}{C_1}(-k_{11}x_1 + k_{12}x_2 - F_1x_3 + y_1(t)); \\ \dot{x}_2 = \frac{1}{C_2}(k_{12}x_1 - k_{22}x_2 + F_2x_3 - F_a x_4); \\ \dot{x}_3 = \frac{1}{m}(F_1x_4 - F_2x_2 - \beta_v x_3 + y_3(t)); \\ \dot{x}_4 = \frac{1}{m_a}(F_a x_2 - \beta_a x_4 - c_a x_5); \\ \dot{x}_5 = x_4 \end{cases} \quad (2)$$

где x_1 и x_2 — приращения давлений в рабочей и обратной полостях цилиндра; x_3 — приращение скорости рабочего органа; x_4 и x_5 — соответственно скорость и приращение скорости инерционного элемента виброгасителя.

Влияние переменных составляющих $y_1(t)$ и $y_3(t)$ соответственно расхода нагнетания и силы сопротивления на колебания скорости рабочего органа с учетом виброгасителя может быть исследовано при помощи передаточных функций:

$$w_1 = \frac{F_1}{C_1 m} \cdot \frac{s^2 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s^5 + a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}; \quad (3)$$

$$w_2 = \frac{1}{m} \cdot \frac{s^4 + d_3 s^3 + d_2 s^2 + d_1 s + d_0}{s^5 + a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}; \quad (4)$$

где a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 и a_5 — коэффициенты характеристического уравнения системы, равные

$$a_4 = \Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \Psi_4;$$

$$a_3 = \omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \Psi_1 \Psi_2 + (\Psi_1 + \Psi_2)(\Psi_3 + \Psi_4) + \Psi_3 \Psi_4 - \Psi_{12} \Psi_{21};$$

$$a_2 = \Psi_1(\omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2 + \Psi_3 \Psi_4) + \Psi_2(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \Psi_3 \Psi_4) +$$

$$+\psi_3(\omega_3^2+\omega_4^2+\psi_1\psi_2-\psi_{12}\psi_{21})+\varphi_4(\omega_1^2+\omega_2^2+\psi_1\psi_2-\psi_{12}\psi_{21})-\gamma^3;$$

$$a_1=(\omega_1^2+\omega_2^2)\omega_4^2+\omega_3^2\omega_1^2+\omega_1^2\psi_2\psi_4+\omega_2^2\psi_1\psi_4+\omega_3^2\varphi_1\varphi_2+$$

$$+\omega_4^2(\psi_1\psi_2+\psi_2\psi_3+\psi_3\psi_1-\psi_{12}\psi_{21})+(\psi_1\psi_2-\psi_{12}\psi_{21})\psi_3\psi_4-2\gamma^3\psi_4;$$

$$a_0=\omega_4^2(\psi_1\omega_2^2+\psi_2\omega_1^2+\psi_1\psi_2\psi_3-\psi_{12}\psi_{21}\psi_3-\gamma^3);$$

$b_1, b_2, b_0, d_3, d_2, d_1$ и d_0 — коэффициенты передаточных функций:

$$b_2=\psi_2+\psi_1-\frac{F_2}{F_1}\psi_{21}; \quad b_1=\omega_3^2+\omega_4^2+\psi_4(\psi_2-\frac{F_2}{F_1}\psi_{21});$$

$$b_0=\omega_4^2(\psi_2-\frac{F_2}{F_1}\psi_{21}); \quad d_3=\psi_1+\psi_2+\psi_4;$$

$$d_2=\omega_3^2+\omega_4^2+(\psi_1+\psi_2)\psi_4+\psi_1\psi_2-\psi_{12}\psi_{21};$$

$$d_1=\psi_1(\omega_3^2+\omega_4^2)+\psi_2\omega_4^2+\psi_4(\psi_1\psi_2-\psi_{12}\psi_{21});$$

$$d_0=\omega_4^2(\psi_1\psi_2-\psi_{12}\psi_{21});$$

В этих выражениях $\psi_1, \psi_{12}, \psi_{21}, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ и γ — парциальные частоты, равные соответственно:

$$y_1=\frac{k_{11}}{C_1}; \quad y_{12}=\frac{k_{12}}{C_1}; \quad y_{21}=\frac{k_{12}}{C_2}; \quad y_2=\frac{k_{22}}{C_2}; \quad y_3=\frac{\beta_1}{m}; \quad y_4=\frac{\beta_a}{m_a};$$

$$g^3=2\frac{F_1F_2k_{12}}{C_1C_2m}; \quad \omega_1^2=\frac{F_1^2}{C_1m}; \quad \omega_2^2=\frac{F_2^2}{C_2m}; \quad \omega_3^2=\frac{F_2^2}{C_2m}; \quad \omega_4^2=\frac{C_a}{m_a};$$

Анализ полученных амплитудно-частотных характеристик показывает, что наибольший эффект при относительно небольших утечках в системе ($k_{11} \cong k_{12} \cong k_{22} \cong 0$) достигается при динамическом гашении колебаний, когда частота ω внешнего воздействия и параметры виброгасителя удовлетворяют условию:

$$\beta_a = 0; \quad \sqrt{\frac{C_a}{m_a} + \frac{F_a^2}{C_2m_2}} = \omega.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробочкин Б.Л. Динамика гидравлических систем станков. — М.: Машиностроение, 1976. — 240 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1973. — 832 с.

УДК 621.914.6:621.883

Б.В. Иванов

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*Министерство образования РБ
Минск, Беларусь*

К настоящему времени предлагается ряд законов для описания рассеивания стойкости металлорежущего инструмента (табл. 1). Вывод каждого из них базируется на математической обработке большого количества результатов наблюдений за стойкостью инструмента в производственных условиях.

П.Г. Кацев [1] показал, что наилучшую аппроксимацию эмпирического распределения стойкости сверл, резцов, метчиков, плашек дает усеченно-нормальное распределение. Для мелких сверл применимость закона зависит от условий эксплуатации и может использоваться экспоненциальное, нормальное и другие виды распределений.

Л.С. Центер описал связь вида закона распределения с качеством инструмента и условиями его эксплуатации, характеризуемых коэффициентом вариации стойкости K_v [2]. При значениях $K_v = 0,1 \dots 0,3$ вполне применимо нормальное распределение. Если $K_v = 0,3 \dots 0,6$, то предпочтительно использовать смешанное, представляющее комбинацию нормального и показательного законов. При $K_v = 0,6 \dots 1,0$ характерно экспоненциальное распределение.

В работах под руководством Г.Л. Хаета, указывается на возможность применения различных законов [3]. В случае постоянства значения параметра потоков отказов λ применимо экспоненциальное распределение, в иных случаях — логарифмически-нормальное или закон Вейбулла. Композиция нормального и экспоненциального распределений характерна для описания стойкости инструмента, имеющего высокое качество. Тяжелые условия работы характеризуются усеченно-нормальным распределением.