

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕДУКТОРА

Крижановский И.С., Яковлев Д.

Научный руководитель - Марцинкевич В.С., старший преподаватель

Рассмотрим одноступенчатый редуктор, расчётная схема которого изображена на рисунке 1.

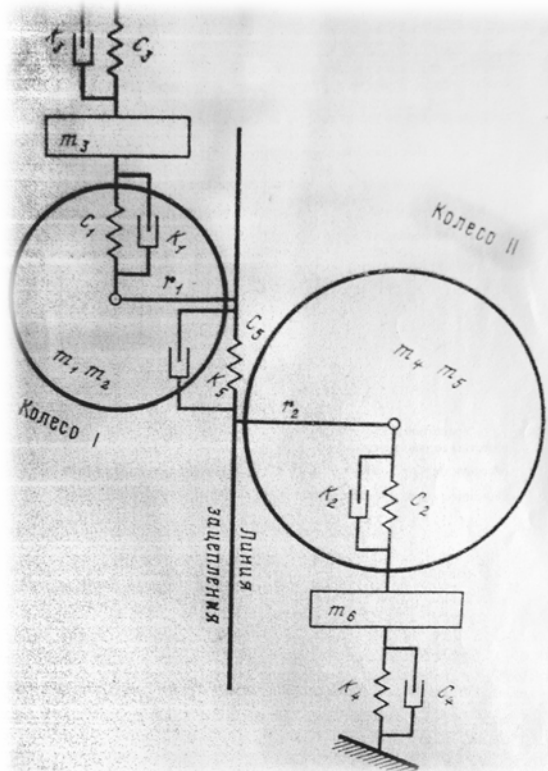


Рисунок 1 – Расчётная схема редуктора

Он состоит из двух косозубых шевронных колёс в подшипниках скольжения. Модель имеет 6 степеней свободы. Обобщённые координаты x_1, x_4 – углы поворота колёс I и II ; x_2, x_5 – перемещение колёс I и II в направлении зацепления; x_3, x_6 – перемещение подшипников колёс I и II в направлении линии зацепления. Источником возмущающих сил считается накопленная погрешность Δ колеса I.

Колебательные процессы в редукторе описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \ddot{x}_1 + c_5 r_1 y + k_5 r_1 \dot{y} = -c_5 r_1 \Delta, \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_1 (x_2 - x_3) + c_5 y + k_1 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_5 \dot{y} = -c_5 \Delta, \\ m_3 \ddot{x}_3 - c_1 (x_2 - x_3) + c_3 x_3 - k_1 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_3 \dot{x}_3 = 0, \\ m_4 \ddot{x}_4 - c_5 r_2 y - k_5 r_2 \dot{y} = c_5 r_2 \Delta, \\ m_5 \ddot{x}_5 + c_2 (x_5 - x_6) - c_5 y + k_2 (\dot{x}_5 - \dot{x}_6) - k_5 \dot{y} = c_5 \Delta, \end{array} \right.$$

$$m_6 \ddot{x}_6 - c_2(x_5 - x_6) + c_4 x_6 - k_2(\dot{x}_5 - \dot{x}_6) + k_4 \dot{x}_6 = 0.$$

Здесь r_1, r_2 – радиусы основных окружностей колёс I и II; m_1, m_4 – их моменты инерции; m_2, m_5 – их массы; m_3, m_6 – массы подшипников колёс I и II; c_1, c_2 – жёсткости колёс I и II; c_3, c_4 – жёсткости стула подшипников колёс I и II; c_5 – жёсткость зацепления; $y = r_1 x_1 + x_2 - r_2 x_4 - x_5$; k_i – коэффициенты демпфирования в соответствующей жёсткости.

Накопленная погрешность Δ представляется в виде $\Delta = \Delta_0 \sin 2\pi f t$, где f – частота вращения колеса I – меняется в рабочем диапазоне $f_{\text{нач}} \leq f \leq f_{\text{кон}}$.

При каждом фиксированном f установившееся решение системы (1) ищется в виде $x_i = a_i \sin(2\pi f t + t_i)$.

Вычисляются амплитудно-частотные характеристики $a_i(f)$ при $1 \leq i \leq 6$, ускорения $u_i(f)$ при $1 \leq i \leq 6$ и динамические усилия $P_i(f)$ в жёсткостях c_i при $1 \leq i \leq 5$. Вычисляются также собственные частоты системы (1) при $\Delta = 0$ и $k_i = 0$.

В качестве варьируемых рассматривается 11 параметров: $(\alpha_1, \dots, \alpha_{11}) = (m_1, \dots, m_6, c_1, \dots, c_5)$. Редуктор предназначен для снижения виброактивности по различным выходным характеристикам, в различных точках механизма, на различных частотах. Естественно, что задача эта является многокритериальной.

Сформулируем 14 критериев $\Phi_v, v = \overline{1,14}$, значение которых желательно уменьшить.

Для сохранения записей введём обозначения

$$\bar{F} = \frac{1}{f_{\text{кон}} - f_{\text{нач}}} \int_{f_{\text{нач}}}^{f_{\text{кон}}} F(f) df,$$

$$\max F = \max_{f_{\text{нач}} \leq f \leq f_{\text{кон}}} F(f).$$

Тогда нетрудно записать все критерии:

1. Средние и максимальные значения амплитуд перемещений (в микронах) подшипников колёс I и II соответственно:

$$\Phi_1 = \bar{a}_3, \Phi_2 = \max a_3, \Phi_3 = \bar{a}_6, \Phi_4 = \max a_6;$$

2. Средние и максимальные значения амплитуд ускорений (в децибелах) подшипников колёс I и II соответственно:

$$\Phi_5 = \bar{U}_3, \Phi_6 = \max U_3, \Phi_7 = \bar{U}_6, \Phi_8 = \max U_6;$$

3. Средние и максимальные значения амплитуд динамических усилий (в ньютонах), передаваемых с подшипников колёс I и II на фундамент:

$$\Phi_9 = \bar{P}_3, \Phi_{10} = \max P_3, \Phi_{11} = \bar{P}_4, \Phi_{12} = \max P_4;$$

4. Масса деталей вращения: $\Phi_{13} = m_2 + m_5$;

5. Φ_{14} – число собственных частот, попадавших в рабочий диапазон $f_{\text{нач}} \leq f \leq f_{\text{кон}}$.

Осуществим поиск наилучшего решения. Оптимальным принимается такое решение, которое при одних и тех же материалах и технологических условиях обеспечивает редуктору наименьшую материалоемкость и заданную долговечность. Для решения этой задачи применяется метод исследования пространства параметров, описанный в работе 1. Разработанная методика позволяет решать проблему не только сокращения сроков конструирования, но и обеспечивать оптимальность параметров по показателям надёжности и материалоемкости редукторов. Таким образом, учитывается несколько критериев одновременно и выбираются критериальные ограничения с учётом возможности проектируемых редукторов.

Литература

1. Соболев, И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М.: Наука, 1981.