

**В.С. ГАПОНОВ**, д.т.н., **П.Н. КАЛИНИН**, к.т.н., Харьков, НТУ «ХПИ»

## **СИНТЕЗ ОПОР КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ НОВИКОВА**

The conditions of an opportunity of organization of system of stabilization of elastic system of almost zero rigidity (ESAZR) are considered. The dimensionless complexes describing the power and elastic characteristic ESAZR are constructed. The concept of critical rigidity is entered and the conditions of construction ESAZR and organization of passive system of stabilization of almost zero a site of rigidity are given.

Повышение технического уровня, конкурентоспособности и снижение энергоемкости оборудования и машин составляют комплекс важнейших задач, которые стоят перед машиностроением Украины. Высокими потенциальными возможностями обладают цилиндрические передачи Новикова. Учитывая, что удельный объем промышленного освоения и выпуска передач с зацеплением Новикова постоянно возрастает и в настоящее время составляет около 12% от объема выпуска традиционных силовых передач, и одновременно повышаются передаваемые нагрузки и скорости движения, т.е. учитывая важность и перспективу применения передач Новикова с дозаполненным зацеплением, проведение исследований динамических процессов, возникающих при работе передачи, приобретает особую важность и значение. В работе /1/ построена математическая модель моделирующая динамические процессы в зубчатой передаче с учетом переменной жесткости зацепления по фазе, погрешность положения осей зубчатых колес, жесткость опор, основные геометрические и конструктивные параметры передачи, т.е. построена достаточно полная динамическая модель зубчатой передачи с зацеплением Новикова. На основании проведенных численных исследований /1,2/ был сделан вывод о существенном влиянии жесткости опор на динамику передачи и предложено в качестве опор использовать опоры с квазинулевой жесткостью /3,4/, силовая характеристика которой имеет вид (рис.1а)

$$F = ((1 - (1 + \delta) \cdot (1 + w^2)^{-1/2})n + r) \cdot w + R,$$

а упругая характеристика (рис.1б)

$$C_p = (1 - (1 + \delta) \cdot (1 + w^2)^{-2/3})n + r.$$

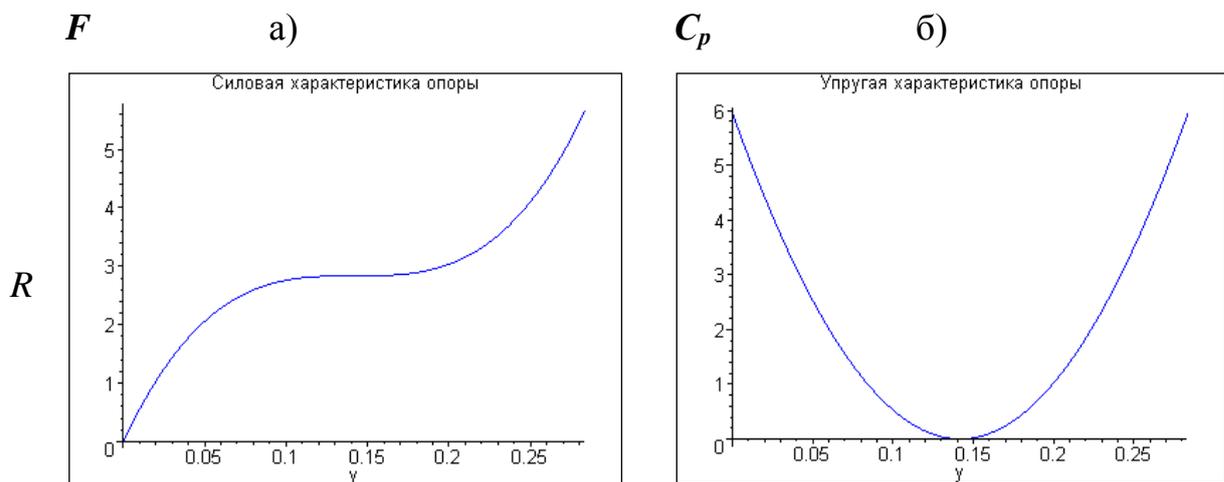


Рис.1 Характеристики синтезируемой опоры передачи ( $Y=b-w$ )

Для решения задач снижения динамических нагрузок в передачах Новикова в условиях нестабильного внешнего возмущения, предложено упругую опору снабжать пассивной системой управления. Вопросы анализа возможности синтеза такого управления и рассмотрены в настоящей работе.

Система управления квазинулевой жесткостью опоры предназначена обеспечивать синхронизацию внешней номинальной нагрузки  $F_a$  и участка квазинулевой жесткости.

Система управления относится к пассивным системам связи и состоит из упругой системы управления (СУ) и ползунов, совмещенных с опорными точками А упругих звеньев корректора и имеющих возможность перемещаться относительно стойки Т вдоль оси упругой системы (рис.2).

Такая организация системы управления требует решения вопроса о синтезе пространства допустимых параметров УСКЖ.

Для решения поставленной задачи оценим силу взаимодействия в зоне контакта ползуна А и стойки Т. В силу того, что контакт ползуна А со стойкой Т может осуществляться различными способами, целесообразно в качестве силы взаимодействия рассматривать нормальное усилие  $R_n(A)$  ползуна А на стойку Т (рис.2).

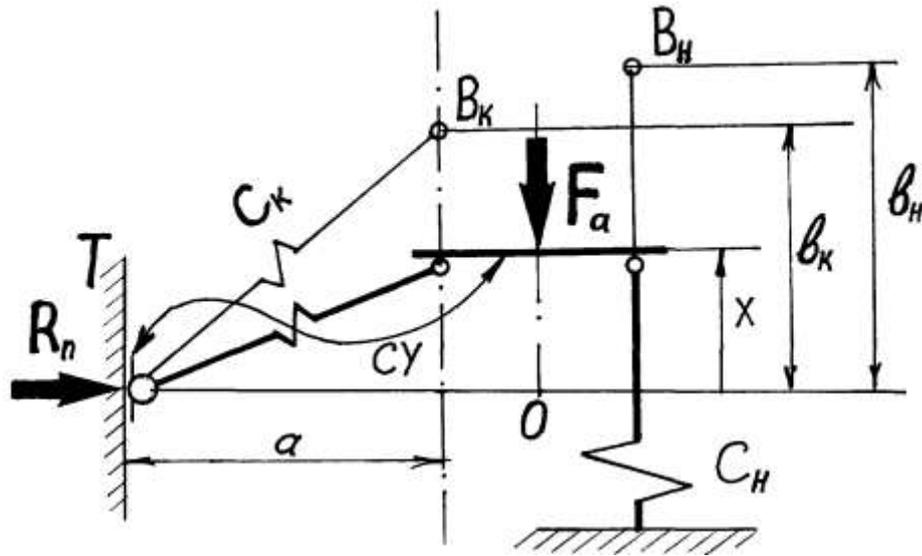


Рис.2 Схема упругой системы квазинулевой жесткости (УСКЖ)

Введем в рассмотрение коэффициент

$$\gamma_{an} = F_a / (n_k \cdot R_n) \quad (1)$$

Здесь  $F_a$  - усилие на УСКЖ,  $R_n$  - нормальное давление опорной точки А на основание Т,  $n_k$  - число упругих звеньев корректора.

Введем в рассмотрение безразмерные комплексы  $f_a, r_n$ , характеризующие соответствующие усилия  $F_a$  и  $R_n$ .

Нетрудно показать, что

$$f_a = x \cdot n_k \cdot 1 - \sqrt{(1+b_k^2)/(1+x^2)} - C_{HK} \cdot b_H - x \quad (2)$$

$$r_n = 1 - \sqrt{(1+b_k^2)/(1+x^2)} \quad (3)$$

В качестве перехода к размерным силовым параметрам используется комплекс  $f_o = c_o \cdot x_o$ , где положены  $x_o = a$  и  $c_o = C_k$ .

Здесь  $a$  - габаритный параметр упругого звена корректора (рис.2), а  $C_k$  - жесткость упругого звена корректора при его сжатии вдоль оси АВ;  $C_{nk} = C_H / C_k$  - отношение жесткости несущего элемента  $C_H$  к жесткости звена корректора  $C_k$ ;  $b_n, b_k, x$  - безразмерные параметры, определяющие ход несущего элемента, ход упругого звена корректора и текущую координату положения УСКЖ (см. рис.2).

Таким образом, выражение для коэффициента  $\gamma_{an}$  имеет вид

$$\gamma_{an} = \frac{f_a}{n_k \cdot r_n} = x - \frac{C_{nk} \cdot (b_n - x)}{n_k \cdot 1 - (1+\delta)/\sqrt{1+x^2}}, \quad (4)$$

где  $\delta = \sqrt{1+b_k^2} - 1$ .

Безразмерный комплекс  $\delta$  характеризует максимальную деформацию упругого звена корректора, которая достигается при горизонтальном положении звена корректора.

Очевидно, что для обеспечения работы корректоров только на сжатие необходимо чтобы

$$-b_k \leq x \leq b_k. \quad (5)$$

Таким образом задача синтеза пассивной системы управления участком квазинулевой жесткости УСКЖ сведена к анализу зависимости (4):  $\gamma_{an} = \gamma_{an}(C_{nk}, b_n, b_k, n_k, x)$  при ограничении (5).

Предварительно отметим, что жесткостная характеристика исследуемой УСКЖ представима в виде

$$C_a = \frac{\partial f_a}{\partial x} = n_k \cdot C_k + C_{nk} = n_k \cdot 1 - (1 + \delta) \cdot (1 + x^2)^{-2/3} + C_{nk} \quad (7)$$

и имеет минимум в точке  $x = 0$ :

$$\min C_a(x) = C_a(x=0) = C_a^0 = -n_k \cdot \delta + C_{nk} = C_{nk} - C^*. \quad (8)$$

Введенный в выражении (8) комплекс

$$C^* = n_k \cdot \delta \quad (9)$$

будем называть критической жесткостью УСКЖ

Очевидно, что в зависимости от значения параметра  $\chi = C^*/C_{nk}$  можно получить упругие характеристики с квазинулевым участком ( $\chi = 1$ ) (рис. 1), с участком отрицательной жесткости ( $\chi > 1$ ) и со знакопостоянной жесткостью ( $\chi < 1$ ).

Для случая реализации упругой системы с участком квазинулевой жесткости (рис.1) необходимо обеспечить выполнение условия  $\chi = 1$ , т.е.

$$C_{nk} = C^* \quad (10).$$

Участок квазинулевой жесткости для такой УСКЖ, как участок минимальной жесткости, достигается при  $x = 0$ , а следовательно

$$\gamma_{an}(x=0, \chi=1) = \gamma_{an}^{01} = C^* \cdot b_n / (n_k \cdot \delta) = b_n \quad (11)$$

Очевидно, что изменяя параметр  $b_n$  можно добиться необходимого значения  $\gamma_{an}$ , однако при этом следует учитывать условия прочности упругих элементов и соответствующие возможные деформации упругих звеньев корректора, т.е. ограничения на параметр  $\delta$  и учитывать выполнение условия (10).

Таким образом вопрос о возможности синтеза пассивной системы управления квазинулевым участком УСКЖ сведен к необходимости обеспечения выполнения равенства  $b_n = \gamma_{an}^{01}$ .

**Список литературы:** 1. Гапонов В.С., Кириченко А.Ф., Калинин П.Н. Математическая модель цилиндрической передачи Новикова с упругими опорами квазинулевой жесткости. - Харьков. Вестник НТУ «ХПИ». Вып.12., 2001, с.90-96.. 2. Кириченко А.Ф., Федченко А.В. Методика моделирования внутренней динамики цилиндрической передачи Новикова ДЛЗ // Харьков., Вестник ХПИ, вып.27, 1998, с.130-134. 3. Гапонов В.С., Калинин П.Н., Чернявский И.Ш. Упругая подвеска квазинулевой

жесткости центрального колеса планетарного ряда. Харьков. Вестник ХПИ. Вып.109.2000. с.65-69. 4. Гапонов В.С., Калинин П.Н. Упругое квазиулево́й жесткости пространство опор быстроходных роторов. Вісник Інженерної академії України. №3. 2001 (Частина 2). К13 №2635. с.137-140.