

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СФЕРИЧЕСКИХ РОЛИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ

Е.С. Лустенкова

Белорусско-Российский университет, 212000, Республика Беларусь, г.Могилев, пр.Миру,43,
тел.(+375 447)-278-243

E-mail: fittsova@gmail.com

Сферические роликовые передачи (СРП) с двухрядным сателлитом могут применяться в качестве механических ступеней мехатронных модулей в кинематических цепях роботов и манипуляторов для получения больших передаточных отношений при малых габаритах привода [1]. СРП относятся к сферическим механизмам, т. к. сателлит совершает сферическое движение относительно неподвижной точки. Два ряда роликов устанавливаются коаксиально с равным угловым шагом. Ролики имеют возможность вращаться относительно собственных осей и осуществлять качение по поверхностям беговых дорожек своими выступающими торцами сферической формы. К основным элементам передачи (рис. 1, а) относятся: 1 – ведущий вал, содержащий наклоненный участок 2 (кривошип); 3 – подшипники качения, с помощью которых сателлит 4 устанавливается на кривошипе; 5, 6 – два ряда роликов (внутренний и наружный); 7 – ведомый вал с беговой дорожкой на торце; 8 – кулачки, закрепляемые в корпусе и образующие неподвижную периодическую беговую дорожку.

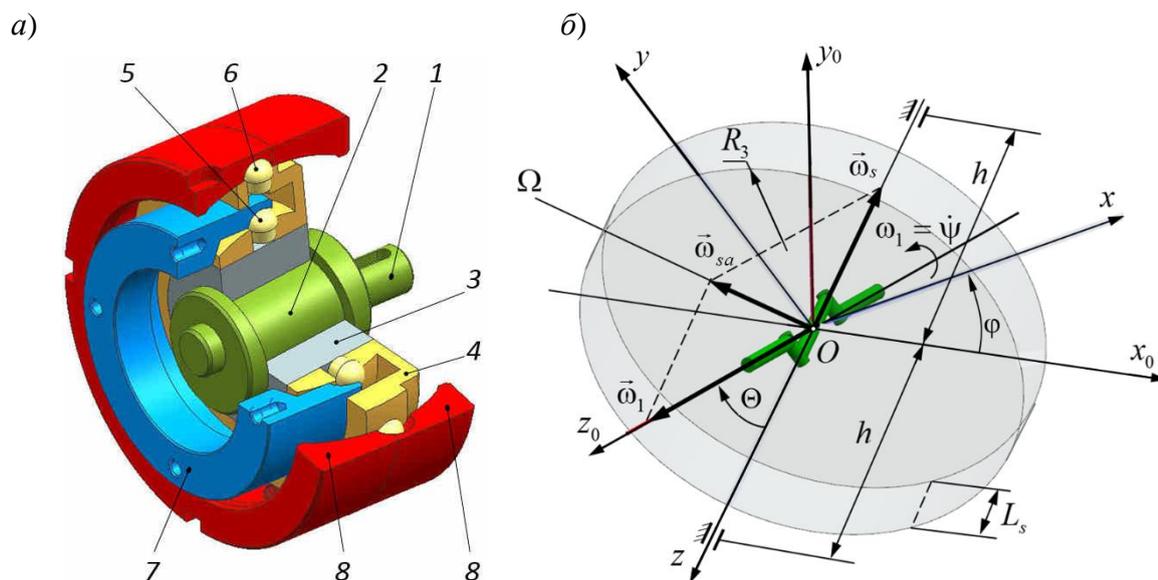


Рис. 1. Конструкция (а) и кинематическая схема (б) СРП.

Передаточное отношение определяется по зависимостям для зубчатых передач с двухвенцовым сателлитом, спроектированным по схеме $2k-h$. Роль чисел зубьев венцов сателлита выполняют числа роликов, а чисел зубьев центральных колес – числа периодов беговых дорожек [3]. Преимуществами СРП являются повышение уравновешенности, т. к. центр масс сателлита находится на оси передачи, и замена скольжения качением.

К основным параметрам передачи относят радиусы сферических поверхностей (основных сфер) R_3 и R_2 , где располагаются центры сферических концов роликов первого и второго рядов соответственно, а также угол наклона кривошипа Θ .

На основе разработанной модели сферического движения сателлита (рис. 1, б) относительно точки O вокруг мгновенной оси Ω либо поворотами с углами Эйлера (ψ , Θ и φ) получена зависимость для определения приведенного момента инерции (к ведущему валу передачи) J_{p1}

$$J_{p1} = J_1 + \frac{J_2}{i_{12}^{(3)}} + J_{sx} \left(1 - \left(i_{12}^{(3)} \right)^{-1} \right)^2 \operatorname{tg}^2 (\Theta) + J_{sz} \left(i_{12}^{(3)} \right)^{-2}, \quad (1)$$

где J_1, J_2 – осевые моменты инерции ведущего и ведомого валов; $i_{12}^{(3)}$ – передаточное отношение; J_{sx}, J_{sz} – осевые моменты инерции сателлита.

Сателлит в модели представлен в виде сплошного диска с радиусом R_3 и высотой L_s . Осевые моменты инерции определяются по известным формулам:

$$I_{sx} = I_{sy} = m_s \left(\frac{R_3^3}{4} + \frac{L_s^2}{3} \right); I_{sz} = \frac{m_s R_3^2}{2}, \quad (2)$$

где m_s – масса сателлита.

С учетом того, что J_{p1} не зависит от обобщенной координаты и ее первой производной по времени, после преобразований, согласно уравнению Лагранжа 2-го рода, получим уравнение движения СРП в виде уравнения вращательного движения одной массы, приведенной к ведущему валу передачи.

Задача по определению динамических реакций опор для вращающегося цилиндра, наклоненного под углом к оси вращения, решена в [4]. Применительно к СРП при симметричном расположении опор относительно сателлита динамические реакции определяются по формуле

$$N_d = \frac{\omega_1^2 m_s}{h} \left(\frac{R_3^2}{4} - \frac{L_s^2}{3} \right) \sin(2\Theta). \quad (3)$$

где ω_1 – угловая скорость ведущего вала, с^{-1} ; h – половина расстояния между опорами ведущего вала (см. рис. 1, б).

Численные расчеты проводились для передачи с параметрами: $R_3 = 30$ мм, $\Theta = 5/30$ рад, $h = 20$ мм. Значение L_s определялось по формуле $L_s = d_s + \Delta_{rs}$, где d_s – диаметр сферического выступа ролика; Δ_{rs} – конструктивный размер, увеличивающий ширину сателлита ($\Delta_{rs} = 2 \dots 6$ мм). При $d_s = 10$ мм и $\Delta_{rs} = 4$ мм, $L_s = 14$ мм. Масса сателлита определялась как масса однородного стального цилиндра (плотность стали $\gamma_{cm} = 7,9 \cdot 10^3$ кг/м³). Она составила $m_s = 0,309$ кг.

При частоте вращения ведущего вала $n_1 = 1000$ мин⁻¹ динамические реакции составили 8,84 Н. Это свидетельствует об отсутствии необходимости их учета при проектном расчете СРП, т. к. нормальные реакции в зацеплении, действующие на тела качения и беговые дорожки, для передачи с аналогичными параметрами при действующих моментах $T_2 = 30 \dots 150$ Н·м на несколько порядков превышают рассчитанные значения N_d .

Список литературы:

1. Лустенков М. Е., Лустенкова Е.С. Оценка кинематических возможностей и КПД сферической и роликовой передач // Вестник машиностроения. – 2019. – № 3. – С. 25–28.
2. Лустенков, М. Е., Лустенкова Е.С. Сферическая роликовая передача с двухрядным сателлитом: силовые расчеты и определение КПД // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 5. – С. 32–43.
3. Efremkov, E. A., Bonnard E. Power Parameters Automated Calculation for Transmission with Intermediate Rolling Bodies and Free Cage // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. – vol. 795. – 6 p.
4. Бать М. И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. – Т. 2 : Динамика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 640 с.