

КОНИЧЕСКИЕ ЗУБЧАТО-ПОВОДКОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Б. П. ТИМОФЕЕВ, М. Ю. САЧКОВ

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Urie2006@yandex.ru

Рассматриваются конические зубчато-поводковые передачи на пересекающихся ортогональных осях. В результате исследования подтверждено отсутствие кромоного контакта при пересопряжении поводков. Обоснован выбор минимального числа поводков исходя из непрерывности функции перемещения.

Ключевые слова: коническая зубчато-поводковая передача, ошибка функции перемещения, активная действующая линия, скачок передаточного отношения

Для изготовления зубчатых колес каждого из видов передач необходимо собственное технологическое оборудование [1—4]. Для изготовления сопряженных конических зубчатых передач требуется сформировать эвольвентную сферическую поверхность, что является сложной задачей [4—7].

В настоящей статье обосновывается работоспособность технологически несложной зубчато-поводковой передачи на пересекающихся ортогональных осях. Основные геометрические параметры этой передачи идентичны рассмотренным в работе [8].

Для определения функции положения зубчато-поводковой передачи используем равенство радиусов-векторов и ортов нормалей в точках касания поверхностей Σ_1 и Σ_2 (соприкасающиеся поверхности цилиндрических поводков). Поверхности поводков образуют высшую кинематическую пару [9].

Уравнение поверхностей Σ_1 и Σ_2 в системах координат (СК) S_2 и S_5 , по аналогии с работой [10], можно записать как

$$x_2 = u_1; \quad y_2 = \rho_1 \cos \theta_1; \quad z_2 = \rho_1 \sin \theta_1; \quad x_5 = \rho_2 \cos \theta_2; \quad y_5 = \rho_2 \sin \theta_2; \quad z_5 = u_2,$$

где ρ_i — радиус i -го поводка.

Орты нормалей к поверхностям Σ_1 и Σ_2 запишем в виде

$$e_{x2} = 0; \quad e_{y2} = \cos \theta_1; \quad e_{z2} = \sin \theta_1; \quad e_{x5} = \cos \theta_2; \quad e_{y5} = \sin \theta_2; \quad e_{z5} = 0.$$

Для преобразования координат воспользуемся следующими матричными уравнениями [10]:

$$r^{(1)} = M_{01}M_{12}r_2 = M_{02}r_2; \quad r^{(2)} = M_{03}M_{34}M_{45}r_5 = M_{05}r_5, \quad (1)$$

где r_2, r_5 — матрицы радиусов-векторов поверхностей Σ_1, Σ_2 ; $r^{(1)}, r^{(2)}$ — матрицы радиусов-векторов этих же поверхностей в неподвижной системе координат S_0 .

На рис. 1 показано упрощенное представление трехзвенного механизма в виде систем координат, связанных с зубчато-поводковыми колесами; оси колес — пересекающиеся ортогональные; $X_0Y_0Z_0$ — неподвижная система координат (стойка).

На основании рис. 1 посредством перехода из СК S_2, S_5 в СК S_0 получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 &R_1 \operatorname{ctg} \alpha_1 + u_1 \cos \alpha_1 + \rho_1 \sin \alpha_1 \sin \theta_1 - \\
 &\quad - (R_2 \cos \varphi_2 - b + u_2 \cos \varphi_2 \sin \alpha_2 - \rho_2 \sin \varphi_2 \sin \theta_2 + \rho_2 \cos \varphi_2 \cos \alpha_2 \cos \theta_2) = 0; \\
 &R_1 \sin \varphi_1 + u_1 \sin \varphi_1 \sin \alpha_1 + \rho_1 \cos \varphi_1 \cos \theta_1 - \rho_1 \cos \alpha_1 \sin \varphi_1 \sin \theta_1 - \\
 &\quad - (R_2 \sin \varphi_2 + u_2 \sin \varphi_2 \sin \alpha_2 + \rho_2 \cos \varphi_2 \sin \theta_2 + \rho_2 \cos \alpha_2 \cos \theta_2 \sin \varphi_2) = 0; \\
 &\rho_1 \sin \varphi_1 \cos \theta_1 - u_1 \cos \varphi_1 \sin \alpha_1 - R_1 \cos \varphi_1 + \rho_1 \cos \varphi_1 \cos \alpha_1 \sin \theta_1 - \\
 &\quad - (R_2 \operatorname{ctg} \alpha_2 - a + u_2 \cos \alpha_2 - \rho_2 \sin \alpha_2 \cos \theta_2) = 0; \\
 &\sin \alpha_1 \sin \theta_1 + (\cos \varphi_2 \cos \alpha_2 \cos \theta_2 - \sin \varphi_2 \sin \theta_2) = 0; \\
 &\cos \varphi_1 \cos \theta_1 - \cos \alpha_1 \sin \varphi_1 \sin \theta_1 + (\cos \varphi_2 \sin \theta_2 + \cos \alpha_2 \cos \theta_2 \sin \varphi_2) = 0; \\
 &\sin \varphi_1 \cos \theta_1 + \cos \varphi_1 \cos \alpha_1 \sin \theta_1 - \cos \theta_2 \sin \alpha_2 = 0,
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

здесь $R_1 = D_1/2$, $R_2 = D_2/2$ [8], где D_1 и D_2 — диаметры аналога делительной окружности ведущего и ведомого колес соответственно.

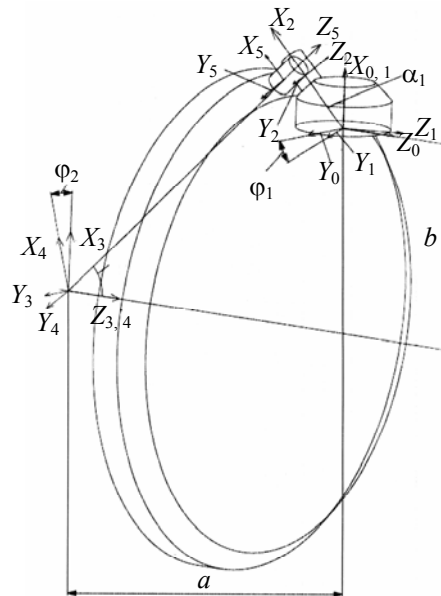


Рис. 1

Расстояние от оси ведущего колеса до вершины дополнительного конуса ведомого колеса $a = \frac{D_2}{2} + \frac{D_1}{2 \operatorname{tg} \alpha_1}$, расстояние от оси ведомого колеса до вершины дополнительного конуса

ведущего колеса $b = \frac{D_2}{2} - \frac{D_1}{2 \operatorname{tg} \alpha_1}$ (см. рис. 1).

В пять независимых уравнений системы (2) входят шесть неизвестных $\varphi_1, \varphi_2, u_1, u_2, \theta_1, \theta_2$. Варьируя параметр φ_1 и используя программные средства MathCAD, получим параметры движения, аналогичные параметрам цилиндрических зубчато-поводковых передач [8], исходя из следующих значений основных параметров передачи:

$$z_1 = 10; \quad i_{12} = 5; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = \pi/4 \text{ рад}; \quad \rho_2 = \rho_1 = 1,5 \text{ мм},$$

здесь z_1 — число поводков ведущего колеса, i_{12} — номинальное передаточное отношение.

На рис. 2, а приведена зависимость $\varphi_2 = f_1(\varphi_1)$, на рис. 2, б — $i_{21} = f_3(\varphi_1)$.

Координаты точек контакта на поверхностях Σ_1 и Σ_2 представлены на рис. 3, а, б соответственно, пунктирной и штриховой линиями показаны верхняя и нижняя границы поводка, здесь $m = 4\rho/\pi - c^*$, $c^* = 0,25$ — коэффициент окружного зазора.

На рис. 4, а приведена зависимость $\Delta i_{21} = f_4(\varphi_1)$, на рис. 4, б — $\Delta\varphi_2 = f_2(\varphi_1)$ (с учетом направления вращения).

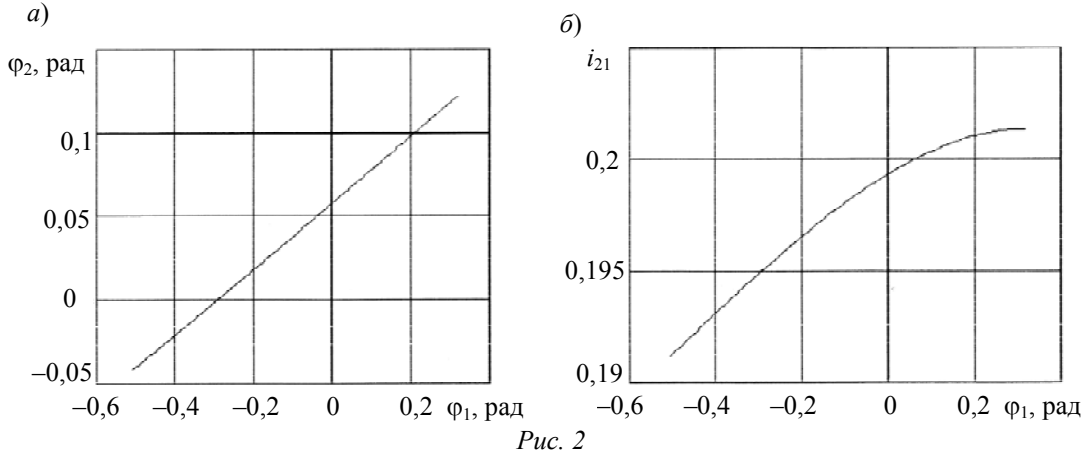


Рис. 2

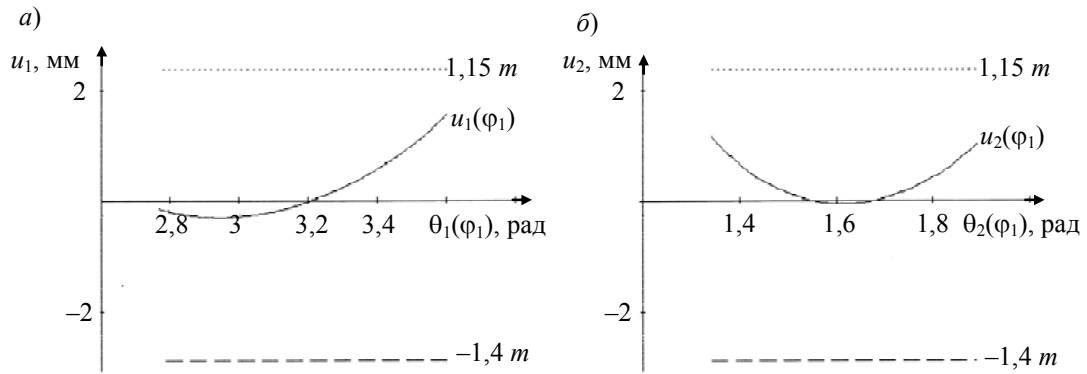


Рис. 3

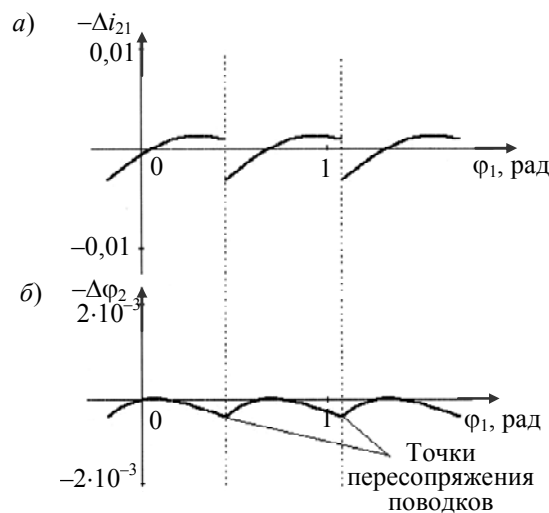


Рис. 4

Функция положения зубчато-поводковой передачи близка к линейной, а точки пересопряжения на поверхности поводков не выходят на кромку, в чем и заключается одно из достоинств данной передачи. Максимальная ошибка функции положения составляет $3,5 \cdot 10^{-4}$ рад, а „скачок“ передаточного отношения равен $4,21 \cdot 10^{-3}$.

С учетом непрерывности функции перемещения для различных чисел поводков ведущего колеса минимальные передаточные отношения (число поводков ведомого колеса) не могут быть меньше представленных в таблице.

z_1	z_2	Минимальное значение i_{12}
6	32	5,33
7	35	5
8	40	5
9	44	4,89
...

При передаточном отношении i_{12} , меньшем, чем указано в таблице, коэффициент перекрытия передачи меньше единицы, что недопустимо.

Максимальное значение i_{12} из геометрических соображений не лимитируется.

Следует отметить, что при увеличении передаточного отношения циклическая погрешность и скачок скорости в момент пересопряжения уменьшаются, а кинематическая погрешность зубчато-поводковой передачи при $i_{12} = 5$, $z_1 = 10$, $\rho_2 = \rho_1 = 1,5$ мм соответствует четвертой степени точности конической прямозубой передачи по ГОСТ 1758-81.

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при поддержке федеральной программы „УМНИК“.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов В. М. Нарезание конических колес производящим колесом со сферическими поверхностями зубьев // Станки и инструмент. 1963. № 8. С. 17—21.
2. Кабатов Н. Ф., Лопато Г. А. Конические колеса с круговыми зубьями. М.: Машиностроение, 1966. 300 с.
3. Сегаль М. Г. Виды локализованного контакта конических и гипоидных передач // Машиноведение. 1970. № 1. С. 56—63.
4. Сызранцев В. Н. Анализ зацепления конических колес, образованных спиральным инструментом // Теория и расчет передаточных механизмов: Сб. Хабаровск: ХПИ, 1975. С. 32—41.
5. Тимофеев Б. П. Синтез и анализ обкатных конических колес с круговыми зубьями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1969.
6. Швелева Г. И. Зацепление приближенных конических колес // Теория передач в машинах: Сб. М.: Машиностроение, 1966. С. 38—48.
7. Бабичев Д. Т. Вопросы исследования геометрии и кинематики пространственных зацеплений. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1971.
8. Тимофеев Б. П., Сачков М. Ю. Выбор геометрических параметров зубчато-поводковых передач // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 6. С. 492—497.
9. Пат. 146159 РФ, МПК F16H 55/10 F15H 55/17. Колесо для передачи вращательного движения / Б. П. Тимофеев, М. Ю. Сачков. Заявл. 19.05.2014; опубл. 10.10.2014. Бюл. № 28.
10. Литвин Ф. Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л.: Машиностроение, 1973. 696 с.

Сведения об авторах

Борис Павлович Тимофеев

— д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра мехатроники;
E-mail: timofeev@mail.ifmo.ru

Михаил Юрьевич Сачков

— Университет ИТМО; кафедра мехатроники; ассистент;
E-mail: Urie2006@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
мехатроники Университета ИТМО

Поступила в редакцию
05.04.16 г.

Ссылка для цитирования: Тимофеев Б. П., Сачков М. Ю. Конические зубчато-поводковые передачи // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 8. С. 625—629.

TOOTHED-ROD BEVEL GEARS

B. P. Timofeev, M. Yu. Sachkov

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia

E-mail: Urie2006@yandex.ru

Conical toothed-rod gears with intersecting orthogonal axes are considered. The absence of edge contacts at the rods re-pairing is confirmed by the study. The choice of the minimal number of rods is justified on the base of on the basis of continuity of the move function.

Keywords: toothed-rod bevel gear, edge contact, the position error function, active acting line, speed error

Data on authors

- Boris P. Timofeev** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Mechatronics;
E-mail: timofeev@mail.ifmo.ru
- Mikhail Yu. Sachkov** — ITMO University, Department of Mechatronics; Assistant;
E-mail: Urie2006@yandex.ru

For citation: *Timofeev B. P., Sachkov M. Yu.* Toothed-rod bevel gears // *Izv. vuzov. Priborostroenie.* 2016. Vol. 59, N 8. P. 625—629 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-8-625-629