

УДК 621.833

Н.И. Прохорова, профессор, канд. техн. наук*Александровский филиал Российского нового университета**ул. Советская 25а, г. Александров, Россия, 601652**E-mail: afrosnou2009@yandex.ru***ЧЕРВЯЧНАЯ ПЕРЕДАЧА С ВИНТОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА**

Излагается теория ортогональной червячной передачи для преобразования вращательного с постоянной скоростью движения червяка в винтовое с переменным параметром движения червячного колеса.

Ключевые слова: винтовые движения, модель, червячная передача, теория зацеплений.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость осуществления винтового движения выходного звена возникает в устройствах подачи металлорежущих станков при обработке винтовых поверхностей постоянного и переменного шагов, при нарезании пространственных кулачков, в приводах мельниц, сепараторов, установок виброцентробежной обработки деталей для интенсификации технологического процесса. В большинстве случаев эти механизмы многосвязные, что приводит к их конструктивной сложности, значительным габаритам и высокой стоимости. Задача реализации таких движений может быть решена на базе зубчатых и червячных передач с винтовыми движениями колес. Они создают предпосылки расширения сферы применения зубчатых и червячных передач и могут рассматриваться как вклад в обогащение методов и средств теории механизмов и теории зацеплений.

Задача выбора оптимальных геометрических форм и технологий обработки элементов звеньев механизмов с высшими парами составляет фундаментальную проблему теории механизмов и, в частности, теории кинематической пары. Парадигма теории контакта взаимогнбимых поверхностей, являющаяся основанием почти всех геометрических и аналитических исследований начиная с 1842 года (Т. Оливье), приводит к сложным и громоздким моделям, в рамках которых затруднительно не только решать, но и формулировать современные оптимизационные задачи. Для решения указанной выше проблемы ранее нами предложена новая базисная парадигма методологии исследования и формирования знаний в теории механизмов, заключающаяся в рассмотрении контактов бесконечно узких поверхностных полос, выделенных на элементах звеньев вдоль действующих (контактных) линий.

Теория поверхностных (контактных) полос, изложенная методом подвижного репера с применением деривационных уравнений В. Бляшке, кинематически интерпретированных по методике Г. Дарбу, позволила создать общую инвариантную теорию кинематических пар и разработать инвариантный метод исследования, эффективный для перечисления, моделирования, вычисления характеристик, анализа, синтеза и оптимизации 3-звенных механизмов с высшими парами [1, 2].

В данной работе будем полагать, что множество моделей червячной передачи ограничено рассмотрением функциональной, структурной, геометрической и кинематической моделей.

I. Функциональная модель

Функциональная модель ортогональной передачи с постоянным межосевым расстоянием для преобразования вращения червяка с постоянной скоростью во вращение с постоянной скоростью и осевое поступательное движение с переменной скоростью червячного колеса приведена на рисунке 1, где $\dot{\phi}_j$ – угловая скорость j -го звена, $j = 1, 2$ – индекс звена; a_b – межосевое расстояние, α_b – межосевой угол, $\dot{u}_2$ – линейная осевая скорость червячного колеса.

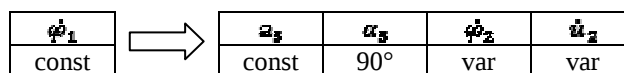


Рисунок 1 – Функциональная модель

II. Структурная модель

Структурная модель червячной передачи с произвольным винтовым движением червячного колеса представлена на рисунке 2. Очевидно, что в частном случае при замкнутом венце червячного колеса, оно будет совершать циклическое винтовое движение вокруг и вдоль своей оси.

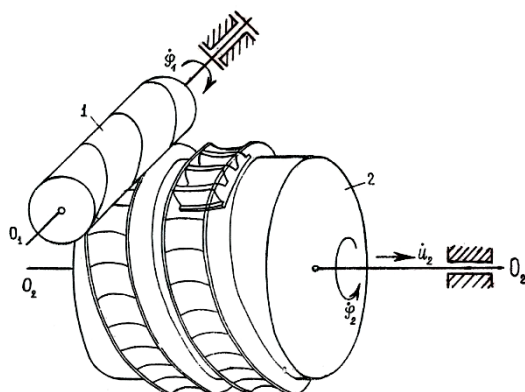


Рисунок 2 – Червячная передача с произвольным винтовым движением колеса.
Структурная модель (схема)

III. Геометрическая модель

На рисунке 3 представлена геометрическая модель рассматриваемой червячной передачи. Она является частным случаем модели трехзвенного механизма общего вида [3].

На этом рисунке O_1, O_1 и O_2, O_2 – оси звеньев 1, 2; $\bar{a}_6 = \overline{OF}$ – мгновенная винтовая ось относительного движения (МВО); $\bar{a}_8 = \overline{QM_j}$ – общая нормаль в точке контакта M_j элементов звеньев, $\bar{a}_7 = \overline{PQ}$ – смещение нормали относительно МВО; $\bar{E}_{8j}, \bar{E}_{7j}, \bar{E}_{6j}$ – сопровождающий точку контакта ортогональный репер, $\bar{E}_{8j}$ – единичный вектор общей нормали, $\bar{E}_{7j}$ – единичный вектор касательный к поверхностной полосе на элементе j -го звена; $\bar{E}_{6j}$ – единый вектор бинормали; α_{8j} – угловое положение МВО относительно оси j -го звена; α_6 – угол между вектором межосевого расстояния и смещением нормали; α_7 – угол между $\bar{a}_6$ и $\bar{a}_8$, α_{8j} – угол между $\bar{E}_{8j}$ и $\bar{E}_{7j}$.

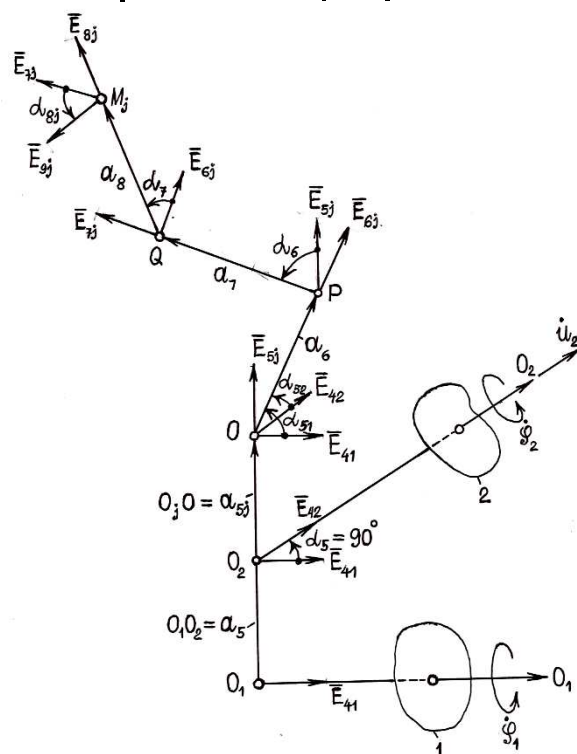


Рисунок 3 – Геометрическая модель

IV. Кинематическая модель

Из [3, 4] кинематическая модель рассматриваемой передачи имеет вид:
1-е звено ($j = 1$)

$$v_1 = -\dot{\phi}_1 a_{51}(-s_{51}s_7s_{81} + c_{51}s_6c_{81} + c_{51}c_6c_7s_{81}) - \dot{\phi}_1 a_6(s_{51}c_6c_{81} - s_{51}s_6c_7s_{81}) - \dot{\phi}_1 a_7(c_{51}c_7s_{81} - s_{51}c_6s_7s_{81}) - \dot{\phi}_1 a_8(c_{51}s_7c_{81} - s_{51}s_6s_{81} + s_{51}c_6c_7c_{81}) + \dot{a}_{51}(c_6c_{81} - s_6c_7s_{81}) - \dot{a}_{51}a_6(s_6c_{81} + c_6c_7s_{81}) + \dot{a}_{51}a_7s_6s_7s_{81} - \dot{a}_{51}a_8(c_6s_{81} + s_6c_7c_{81}) + \dot{a}_6s_7s_{81} + \dot{a}_6(a_7c_7s_{81} + a_8s_7c_{81}) + \dot{a}_7c_{81} - \dot{a}_7a_8s_{81}; \quad (1)$$

$$\dot{\phi}_1 a_{51}(s_{51}c_7 + c_{51}c_6s_7) - \dot{\phi}_1 a_6s_{51}s_6s_7 + \dot{\phi}_1 a_7(c_{51}s_7 + s_{51}c_6c_7) + \dot{a}_{51}s_6s_7 + \dot{a}_{51}(a_6c_6s_7 + a_7s_6c_7) + \dot{a}_6c_7 - \dot{a}_6a_7s_7 + \dot{a}_8 = 0; \quad (2)$$

$$-\dot{\phi}_1 a_{51}(-s_{51}s_7c_{81} - c_{51}s_6c_{81} + c_{51}c_6c_7c_{81}) + \dot{\phi}_1 a_6(s_{51}c_6s_{81} + s_{51}s_6c_7c_{81}) - \dot{\phi}_1 a_7(c_{51}c_7c_{81} - s_{51}c_6s_7c_{81}) + \dot{\phi}_1 a_8(c_{51}s_7c_{81} + s_{51}s_6c_{81} + s_{51}c_6c_7c_{81}) - \dot{a}_{51}(c_6s_{81} + s_6c_7c_{81}) + \dot{a}_{51}a_6(s_6s_{81} - c_6c_7c_{81}) + \dot{a}_{51}a_7s_6s_7c_{81} + \dot{a}_{51}a_8(-c_6c_{81} + s_6c_7s_{81}) + \dot{a}_6s_7c_{81} + \dot{a}_6(c_7c_7c_{81} - a_8s_7s_{81}) - \dot{a}_7s_{81} - \dot{a}_7a_8c_{81} = 0; \quad (3)$$

$$v_1 k_{81} = -\dot{\phi}_1 (c_{51}c_7 - s_{51}c_6s_7) + \dot{a}_{51}s_6s_7 + \dot{a}_6c_7 + \dot{a}_{81}; \quad (4)$$

$$v_1 k_{91} = -\dot{\phi}_1 (c_{51}s_7s_{81} + s_{51}s_6c_{81} + s_{51}c_6c_7s_{81}) + \dot{a}_{51}(c_6c_{81} - s_6c_7s_{81}) + \dot{a}_6s_7s_{81} + \dot{a}_7c_{81}; \quad (5)$$

$$v_1 k_{101} = -\dot{\phi}_1 (c_{51}s_7c_{81} - s_{51}s_6s_{81} + s_{51}c_6c_7c_{81}) - \dot{a}_{51}(c_6s_{81} + s_6c_7c_{81}) + \dot{a}_6s_7c_{81} - \dot{a}_7s_{81}. \quad (6)$$

2-е звено ($j=2$)

$$v_2 = -\dot{u}_2(c_{52}s_7s_{82} + s_{52}s_6c_{82} + s_{52}c_6c_7s_{82}) - \dot{\phi}_2 a_{52}(-s_{52}s_7s_{82} + c_{52}s_6c_{82} + c_{52}c_6c_7s_{82}) - \dot{\phi}_2 a_6(s_{52}c_6c_{82} - s_{52}s_6c_7s_{82}) - \dot{\phi}_2 a_7(c_{52}c_7s_{82} - s_{52}c_6s_7s_{82}) - \dot{\phi}_2 a_8(c_{52}s_7c_{82} - s_{52}s_6s_{82} + s_{52}c_6c_7c_{82}) + \dot{a}_{52}(c_6c_{82} - s_6c_7s_{82}) - \dot{a}_{52}a_6(s_6c_{82} + c_6c_7s_{82}) + \dot{a}_{52}a_7s_6s_7s_{82} - \dot{a}_{52}a_8(c_6s_{82} + s_6c_7c_{82}) + \dot{a}_6s_7s_{82} + \dot{a}_6(a_7c_7s_{82} + a_8s_7c_{82}) + \dot{a}_7c_{82} - \dot{a}_7a_8s_{82}; \quad (7)$$

$$-\dot{u}_2(c_{52}c_7 - s_{52}c_6s_7) + \dot{\phi}_2 a_{52}(s_{52}c_7 + c_{52}c_6s_7) - \dot{\phi}_2 a_6s_{52}s_6s_7 + \dot{\phi}_2 a_7(c_{52}s_7 + s_{52}c_6c_7) + \dot{a}_{52}s_6s_7 + \dot{a}_{52}(a_6c_6s_7 + a_7s_6c_7) + \dot{a}_6c_7 - \dot{a}_6a_7s_7 + \dot{a}_8 = 0; \quad (8)$$

$$-\dot{u}_2(c_{52}s_7c_{82} - s_{52}s_6s_{82} + s_{52}c_6c_7c_{82}) + \dot{\phi}_2 a_{52}(s_{52}s_7c_{82} + c_{52}s_6s_{82} - c_{52}c_6c_7c_{82}) + \dot{\phi}_2 a_6(s_{52}c_6s_{82} + s_{52}s_6c_7c_{82}) - \dot{\phi}_2 a_7(c_{52}c_7c_{82} - s_{52}c_6s_7c_{82}) + \dot{\phi}_2 a_8(c_{52}s_7c_{82} + s_{52}s_6c_{82} + s_{52}c_6c_7c_{82}) - \dot{a}_{52}(c_6s_{82} + s_6c_7c_{82}) + \dot{a}_{52}a_6(s_6s_{82} - c_6c_7c_{82}) + \dot{a}_{52}a_7s_6s_7c_{82} + \dot{a}_{52}a_8(-c_6c_{82} + s_6c_7s_{82}) + \dot{a}_6s_7c_{82} + \dot{a}_6(a_7c_7c_{82} - a_8s_7s_{82}) - \dot{a}_7s_{82} - \dot{a}_7a_8c_{82} = 0; \quad (9)$$

$$v_2 k_{82} = -\dot{\phi}_2 (c_{52}c_7 - s_{52}c_6s_7) + \dot{a}_{52}s_6s_7 + \dot{a}_6c_7 + \dot{a}_{82}; \quad (10)$$

$$v_2 k_{92} = -\dot{\phi}_2 (c_{52}s_7s_{82} + s_{52}s_6c_{82} + s_{52}c_6c_7s_{82}) + \dot{a}_{52}(c_6c_{82} - s_6c_7s_{82}) + \dot{a}_6s_7s_{82} + \dot{a}_7c_{82}; \quad (11)$$

$$v_2 k_{102} = -\dot{\phi}_2 (c_{52}s_7c_{82} - s_{52}s_6s_{82} + s_{52}c_6c_7c_{82}) - \dot{a}_{52}(c_6s_{82} + s_6c_7c_{82}) + \dot{a}_6s_7c_{82} - \dot{a}_7s_{82}; \quad (12)$$

Кроме (1) – (12) имеют место $a_5 = \text{const}$, $\alpha_5 = 90^\circ$, принимают вид

$$\dot{\phi}_{12} = (\dot{\phi}_1^2 + \dot{\phi}_2^2)^{0.5}, \quad \dot{u}_{12} = \frac{\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2 a_5 + \dot{u}_2 \dot{\phi}_2}{(\dot{\phi}_1^2 - \dot{\phi}_2^2)^{0.5}}, \quad p_{12} = \frac{\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2 a_5 + \dot{u}_2 \dot{\phi}_2}{\dot{\phi}_1^2 - \dot{\phi}_2^2},$$

$$a_{52} = \frac{-a_5 \dot{\phi}_1^2 + \dot{u}_2 \dot{\phi}_1}{\dot{\phi}_1^2 + \dot{\phi}_2^2}, \quad t_{g\alpha_{51}} = -\frac{\dot{\phi}_2}{\dot{\phi}_1}, \quad t_{g\alpha_{52}} = \frac{\dot{\phi}_1}{\dot{\phi}_2}, \quad a_{51} = \frac{a_5 \dot{\phi}_2^2 - \dot{u}_2 \dot{\phi}_1}{\dot{\phi}_1^2 + \dot{\phi}_2^2},$$

где $\dot{\phi}_{12}$, $\dot{u}_{12}$ – относительные угловая и линейные скорости, p_{12} – параметр винта относительного движения. Система включает 19 уравнений и содержит 26 переменных (a_5 , $\dot{\phi}_1$, $\dot{\phi}_2$, $\dot{u}_2$, a_{51} , α_{51} , a_{52} , α_{52} , a_6 , α_6 , a_7 , α_7 , a_8 , α_{81} , α_{82} , v_1 , v_2 , k_{81} , k_{82} , k_{91} , k_{92} , k_{101} , k_{102} , $\dot{\phi}_{12}$, $\dot{u}_{12}$, p_{12}). Таким образом, для замкнутости и определенности решения системы необходимо при анализе или синтезе задать $26 - 19 = 7$ значимых параметров. Так, например, при решении задачи могут быть исходными конструктивный параметр a_5 – межосевое расстояние, кинематические характеристики $\dot{\phi}_1$, $\dot{\phi}_2$, $\dot{u}_2$. Если, в частном случае $\dot{u}_2 = 0$, получим классическую червячную передачу, при $\dot{u}_2 = A\dot{\phi}_2$ ($A = \text{const}$), получим передачу с постоянной скоростью осевого перемещения червячного колеса, при $\dot{u}_2 = A \sin k\phi_2$ получим передачу с замкнутым венцом колеса, совершающим циклическое винтовое движение.

Остальные три параметра следует задавать в виде дополнительных связей исходя из конструктивных, технологических, эксплуатационных и других условий, учитывающих методы и средства для изготовления передачи, а также критерии ее эффективности и работоспособности. Дальнейшие исследования связаны с численными экспериментами.

Библиографический список использованной литературы

1. Прохоров В.П. Об относительном движении звеньев пространственного зацепления / В.П. Прохоров, Н.И. Прохорова // Машиноведение. — 1978. — № 6. — С. 36–41.
2. Прохоров В.П. Зубчатые приводы с циклическим винтовым движением звеньев для вибротриб с кинематическим возбуждением / В.П. Прохоров, Н.И. Прохорова // Тр. Всемирного Конгресса по ТММ. — Оулу, Финляндия, 1999. — Т. 7. — С. 2674–2677.
3. Prohorov V.P. Actual Problems Models and Algorithms of Technological Syntethesis of General Type Engagements / V.P. Prohorov // Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science. — Tianjin, China, 2004. — P. 289–293.
4. Prohorova N.I. Machine and Functioning Engagement of wheels with screw Movements in Unorthogonal Hypoid Gear with Circular / N.I. Prohorova // Teeth. Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science. — Tianjin, China, 2004. — P. 289–293.

Поступила в редакцию 21.06.2011 г.

Прохорова Н.І. Черв'ячна передача з гвинтовим рухом вихідного елемента.

Описується теорія ортогональної черв'ячної передачі для перетворення поворотного з постійною швидкістю руху черв'яка в гвинтове з перемінним параметром руху черв'ячного колеса.

Ключові слова: гвинтовий рух, модель, черв'ячна передача, теорія зацеплення.

Prokhorova N.I. A worm gear with the worm output link screw motion

This article sets forth the theory of orthogonal worm gear for transformation of the rotary motion with constant worm motion speed into the screw motion of the worm wheel with a variable parameter.

Keywords: screw motion, model, worm gear, engagement theory.