

### Перелік посилань:

1. Трение, изнашивание и смазка: Справочник в 2-х кн./ Под ред. И.В.Крагельского и В.В.Алишина. - М.: Машиностроение, 1979. - 400 с.
2. Метильков С.А. Прогнозирование надежности открытых цепных передач на стадии проектирования// Цепные передачи и приводы: Сб. науч. тр./ Краснодар. политехн. ин-т. - Краснодар, 1988. - С. 14-26.
3. ГОСТ 13568-75. Цепи приводные роликовые и втулочные. Общие технические условия. - М.:Изд-во стандартов,1975.- 21 с.
4. Метильков С.А. Износостойкость и показатели надежности цепных передач сельхозмашин/ Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1985. - № 1. - С. 28-30.
5. Петрик А.А., Иванов А.Д. Об изменении точности роликовой цепи в процессе ее изнашивания// Техническая механика: Сб. науч. тр./ Краснодар. политехн. ин-т. - Краснодар, 1972. - С. 9-16.

УДК 621.85.055.25:629.01

Г. Узклингис

(Латвийский сельскохозяйственный университет, г.Рига)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ РОЛИКОВОГО ЦЕПНОГО КОНТУРА

*Анотація.* У цій статті пояснено принципи математичного моделювання та синтезу ланцюгово-приводних контурів. Мета дослідження - розробити універсальний метод геометричного синтезу кінематики для дво- та багатовалових контурів, який забезпечить тягове зусилля приводу та плавний рух ведених зірочок. Математична модель контурів ланцюга і універсальна і придатна для будь-якої орієнтації та конфігурації контурів, не враховуючи їх кількість. Геометричний синтез кінематики ланцюгового приводу складається із чотирьох етапів:

- обчислення повторення періоду початкового положення руху контура ланцюга;
- теоретичні дослідження кількості контурів багатовалового ланцюга;
- знаходження критеріїв оптимального відбору ланцюга;
- оптимізація контура ланцюга.

Задача исследования - разработка универсального геометрически-кинематического метода синтеза двух- и многовалового цепного контура, обеспечивающего тяговую способность передачи и плавность хода ведомых звездочек.

Основным элементом при математическом моделировании многовалового цепного корпуса является длина участка цепи (см. рисунок)

$$L_{j,j+1} = I_{j,j+1} + tW_{j+1} \quad (1)$$

где  $L_{j,j+1}$  - длина ветви между звездочками  $Z_j$  и  $Z_{j+1}$ ;  $W_{j+1}$  - число звеньев (целое число) цепи, расположенных на звездочке с числом зубьев  $Z_{j+1}$ .

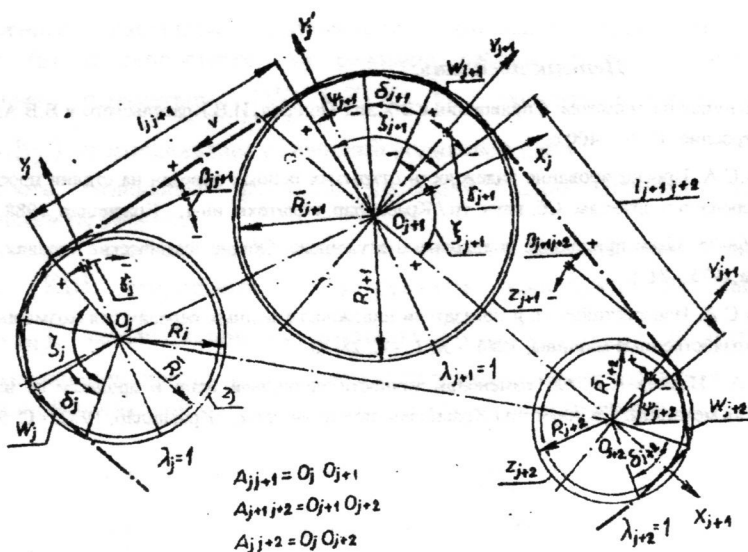


Рисунок - Элемент многозвального цепного контура

Задача геометрического расчета состоит в установлении функциональных зависимостей между заданным входным параметром  $\gamma_j$  (угол поворота ведущей звездочки) и выходным параметром  $L_{j,j+1}$ , нужным для разработки алгоритма по синтезу многозвальных цепных контуров по ряду критериев (равномерность вращения ведомых звездочек и других). Расчет длины  $L_{j,j+1}$  можно осуществить только при совместном исследовании взаимного положения трех звездочек:  $Z_j$ ,  $Z_{j+1}$  и  $Z_{j+2}$ , причем  $j=1, 2, 3, \dots, N_z$ , а  $Z_{N_z+1} = Z_1$  и  $Z_{N_z+2} = Z_2$ . Если  $N_z=2$ , то расчетную схему, показанную на рисунке, используют дважды: при  $Z_1, Z_2$  и  $Z_3$  и при  $Z_2, Z_1$  и  $Z_2$ .

Разработанная математическая модель цепного контура является универсальной и пригодна для контура любой ориентации и конфигурации независимо от числа звездочек.

Алгоритм синтеза цепных контуров содержит три этапа:

- фиксируется начальное положение ведущей ветви цепи (параметры  $\gamma_{10}$ ,  $I_{120}$ ,  $\psi_{20}$ , и  $\beta_{12}$ );
- принимая  $j=1, 2, 3, \dots, N_z$ , определяют длины  $L_{j,j+1}$  участков цепи;
- уточняется общая длина цепного контура и амплитуда изменения длины цепного контура  $\Delta L$ :

$$L = \sum_{j=1}^{N_z} L_{j,j+1}, \quad (2)$$

$$\Delta L = \frac{1}{2} [L_{\max}(\gamma_1) - L_{\min}(\gamma_1)], \quad (3)$$

Величина  $L$  представляет теоретическую длину цепного контура, зависящую от текущего значения угла  $\gamma_1$ . Требуемая длина цепного контура:

$$L_{\text{ТР}} = t \left\{ \varepsilon \left[ \frac{L_{\text{max}}(\gamma_1)}{t} + 1 \right] \right\}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  - число, устанавливающее точность расчета;  $t$  - шаг цепи;  $L_{\text{max}}(\gamma_1)$  - наибольшая теоретическая длина цепного контура при повороте звездочки  $Z_1$  от угла

$$\gamma_{10} = \gamma_1 \text{ до } \gamma_1 = \gamma_{10} + \delta_j \text{ (здесь } \delta_j = \frac{2\pi W_j}{z_j}; j=1, 2, 3, \dots, N_z).$$

Избыточная длина цепного контура  $\Delta L_{\text{изб}} = L_{\text{ТР}} - L(\gamma_1)$  для обеспечения провисания цепи должна быть больше нуля.

Принципы разработки оптимальных кинематических схем цепной передачи получены в результате анализа [1] существующих методов расчета геометрических параметров передачи.

Полный геометрически-кинематический синтез роликовой цепной передачи содержит четыре этапа.

### 1. Определение повторных встреч зубьев звездочек и шарниров цепи.

С уменьшением числа повторных встреч одних и тех же зубьев звездочки и шарниров цепи, уменьшается износ цепи и зубьев звездочек. Для определения периода движения цепного контура используются следующие матрицы:

$$\frac{1}{T_1} \left\| \begin{matrix} z_1 & z_1 & z_1 & \dots & z_1 & z_1 \\ z_2 & z_3 & \dots & z_j & \dots & z_{N_z} & L_t \end{matrix} \right\|, \quad (5)$$

$$\frac{1}{T_1 N_0} \left\| \begin{matrix} z_1 N_0 & z_1 N_0 & z_1 N_0 & \dots & z_1 N_0 & z_1 N_0 \\ N_0 & z_2 & z_3 & \dots & z_j & \dots & L_t \end{matrix} \right\|, \quad (6)$$

$$T_0 = T_1 N_0 = \frac{2\pi N_0}{\omega_1}, \quad (7)$$

где  $z_1$  - число зубьев ведущей звездочки;  $z_j$  - число зубьев  $j$ -ой звездочки ( $j=1, 2, 3, \dots, N_z$ );  $N_z$  - общее число звездочек в цепном контуре;  $L_t$  - длина цепи, выраженная в шагах цепи;  $N_0$  - число оборотов ведущей звездочки, когда цепной контур снова занимает исходное положение;  $T_1$  - период возвращения ведущей звездочки в исходное положение;  $\omega_1$  - частота вращения ведущей звездочки.

Пример. Дано  $z_1=7$ ;  $z_2=13$ ;  $z_3=21$  и  $L_t=42$ , от (5), (6) и (7) получаем:

$$\frac{1}{T_1} \left\| \begin{matrix} 7 & 7 & 7 \\ 13 & 21 & 42 \end{matrix} \right\| = \frac{1}{T_1} \left\| \begin{matrix} 7 & 11 \\ 13 & 36 \end{matrix} \right\| = \frac{1}{78 T_1} \left\| 78 \cdot 42 \cdot 26 \cdot 13 \right\|$$

Получено  $N_0 = 78$  и  $T_0 = 78$ , т.е. после 78 оборотов ведущей звездочки цепной контур снова займет начальное (исходное) положение. Число оборотов звездочки  $Z_2 = 42$ , звездочки  $Z_3 = 26$ , число пробегов цепного контура - 13.

## 2. Возможные варианты кинематических схем многоваловых цепных передач.

Количество реально возможных вариантов многоваловых цепных контуров определяют, отбрасывая от гипотетически возможных вариантов  $(N_z - 1)!$  те, которые невозможны по следующим причинам [2]:

- соприкасаются звездочки;
- пересекаются ветви цепи со звездочками;
- пересекаются ветви цепи.

Во всех возможных вариантах сохраняются координаты центров звездочек, направления их вращения и передаточные числа ступеней.

## 3. Оценка оптимальности цепного контура.

Из теоретически отобранных цепных контуров выбирают лучшие, исходя из следующих оценочных критериев:

- длина цепи и колебание длины цепи;
- угол обхвата звездочки цепью;
- удельная работа сил трения в шарнирах (критерий износостойкости цепи);
- последовательность произведения  $P_j z_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, N_z$ ), здесь  $P_j$  - мощность на  $j$ -том валу;
- безрезонансный режим работы всех ветвей цепи контура;
- ресурс цепи [3].

Для оценки оптимального контура используют и кинематические параметры [4, 5], определяемые в зависимости от угла поворота  $\gamma_1$  ведущей звездочки  $Z_1$ :

- мгновенное передаточное отношение звездочки  $Z_j$  относительно ведущей звездочки  $Z_1$ ;
- угол качения ветви  $I_{j,j+1}$  цепного контура  $\beta_{j,j+1}$ ;
- угловая скорость  $\dot{\beta}_{j,j+1}$  и ускорение  $\ddot{\beta}_{j,j+1}$  колебания ветви  $I_{j,j+1}$  цепи;
- угловая скорость  $\dot{\gamma}_j$  и угловое ускорение  $\ddot{\gamma}_j$  вращения звездочки  $Z_j$ ;
- мгновенная скорость  $V_{j,j+1}$  движения центра ветви  $I_{j,j+1}$ ;
- составляющие мгновенного ускорения (нормальное и тангенциальное) центра ветви  $I_{j,j+1}$ ;
- скорость входа шарнира цепи в зацепление ветви  $I_{j,j+1}$  со звездочкой  $Z_j$ ;
- коэффициент интенсивности изменения кинематических параметров.

## 4. Оптимизация цепного контура.

При помощи начального числового анализа и экспертного метода из всех возможных цепных контуров выбирают контур для реальных условий и проводят углубленный анализ и оптимизацию выбранного контура. При помощи коррекции межосевых расстояний  $\alpha_{j,j+1}$  [6], а также изменением числа зубьев звездочек  $Z_j$  или шага цепи  $t$  обеспечивают минимизацию пульсаций длины цепи, угла качения ветвей и вредного влияния других факторов, отмеченных в предыдущем пункте.

Точность и плавность вращения  $j+1$ -ой ведомой звездочки оценивается законом изменения мгновенного передаточного числа  $u_{j+1}$ . Анализом [6] показано, что величина мгновенного передаточного числа зависит от угла поворота ведущей звездочки и от всех геометрических параметров цепного контура (шага цепи, числа зубьев звездочек, межосевых расстояний и расположения звездочек относительно цепи) между двумя смежными звездочками. Для проведения оптимального синтеза двух- и многовалового цепного контура по критерию плавности движения ветвей цепи

и вращения ведомых звездочек корректировку центра  $j+1$ -той звездочки следует осуществлять по выражению:

$$\Delta u_{j+1} = \min \left\{ \bar{u}_{j+1} - u_{j+1} \right\}, \quad (8)$$

где  $u_{j+1}$  - отклонения передаточного числа от среднего значения  $\bar{u}_{j+1}$ .

На основе представленных исследований и с целью автоматизированного анализа и синтеза роликовых цепных контуров нами разработаны соответствующие компьютерные программы.

*Summary. Methodological principles of mathematical modeling and synthesis of chain-drive contours are expounded in this article.*

*The aim of investigation - to work out universal geometrically kinematics synthesis method for two and multi-shaft contours, which provides drive's pulling force and driven chain-wheels' smooth motion. Mathematical model of chain contour is univeral and suitable for any orientation and configuration contours regardless of the number of chain-wheels. The geometrically kinematics synthesis of chain-drive contains four stages:*

- calculation of the chain contour motion starting position's recycling period;
- theoretical investigation of multi-shaft chain contour's number;
- founding of the optimal chain contour's selection criterions;
- optimization of the chain contour.

#### Перелік посилань:

1. Томашунс И.А., Узклингис Г.А. Анализ методов геометрического расчета двухзвездочных цепных передач// Тр. Латв. СХА. - Елгава, 1983. - Вып. 215. - С. 38-45.
2. Томашунс И.А., Узклингис Г.А., Доминиекс Л.А. Возможные варианты кинематических схем многоваловых цепных передач// Изв.вузов. - М.: Машиностроение, 1987. - № 3. - С. 31 - 35.
3. Узклингис Г.А., Толмачев В.В., Томашунс И.А. Методы расчета ресурса роликовых цепей по критерию износостойкости// Тр. Латв. СХА. - Елгава, 1988. - Вып. 252. - С. 20 - 28.
4. Узклингис Г., Томашунс И., Доминиекс Л. Геометрический расчет цепных передач. - Елгава: ЛСХА, 1983. - 116 с.
5. Томашунс И.А., Узклингис Г.А., Доминиекс Л.А. Новый метод геометрического расчета роликовых передач// Вестник машиностроения. - М., 1985. - № 7. - С. 26 - 28.
6. Томашунс И.А., Узклингис Г.А., Доминиекс Л.А. Исследование изменения передаточного числа роликовой цепной передачи// Тр. Латв. СХА. - Елгава, 1985. - Вып. 230. - С. 52 - 61.

УДК 531.7(088.8)

Л. Роганов, В. Попов

(Донбасская государственная машиностроительная академия, г.Краматорск)

## СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ТРЕНИЯ В ЗВЕНЬЯХ ЦЕПНЫХ ПЕРЕДАЧ

*Анотація. Подані способи і конструкції стендів та методики для визначення моменту тертя в шарнірах приводних ланцюгів і коефіцієнта корисної дії в ланцюгових передачах.*

КПД передач используется во многих технических расчетах: определении потерь мощности, определении потребной мощности двигателя при известной отбираемой у механизма мощности и, наоборот, определении отдаваемой механизмом мощности при известной мощности двигателя во всех тепловых расчетах механизмов. Аналитическое определение КПД практически невозможно. Приводимые в справочной