

## КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛАНЕТАРНОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

**Султанов Т.Т., Алтыбаева Н.Б.**

*Планетарлық беріліс қорабын кинематикалық зерттеуін графикалық әдіспен жүргізу көрсетілген. Нәтижелер сателлиттердің қалай тақ, солай жұп тістер санында табылу мүмкін.*

*It Is Shown kinematics study planetary gearbox (PKP) by graphic way. The Results can be received both under even, and under uneven count; calculate; list teeth satellites.*

Задачей кинематического анализа является уточнение передаточных чисел ПКП (если при подборе чисел зубьев шестерен планетарных рядов изменялись их характеристики  $k$ ) и аналитическое определение абсолютных частот вращения всех центральных звеньев и относительных частот вращения сателлитов на всех передачах.

Кинематический анализ ПКП основан на использовании уравнений кинематики тягового диапазона механизма (ТДМ).

В ряде случаев полезно произвести кинематическое исследование планетарного механизма графическим методом. В основе этого метода лежат два положения кинематики [1]:

1.1. Скорость точки звена, совершающего вращательное движение, является линейной функцией радиуса вращения. В таком случае график зависимости скорости от радиуса есть прямая линия.

2.2. Любое плоское движение можно рассматривать как мгновенное вращательное движение вокруг МЦС (мгновенного центра скоростей).

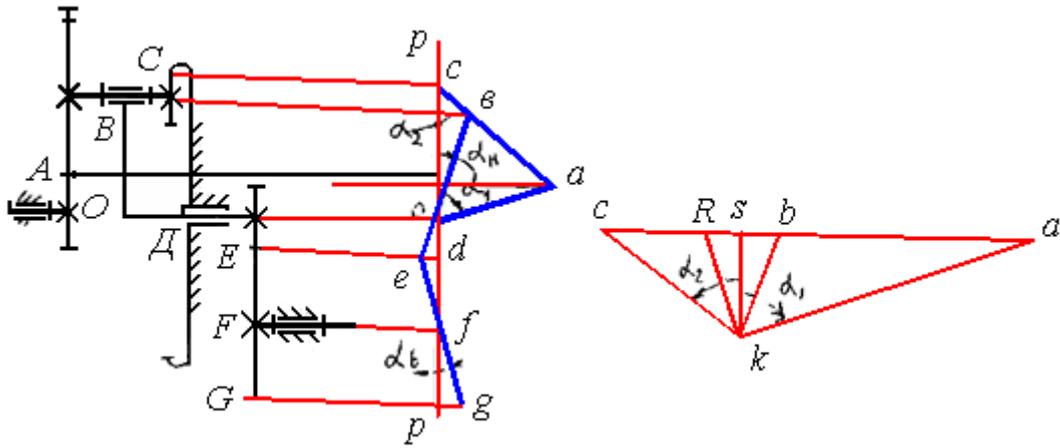


Рисунок 1-Механизм, включающий планетарную и рядовую ступень

Механизм, представленный на рис. 1, включает планетарную и рядовую ступень, составленную колесами  $Z_5$  и  $Z_6$ . Схема механизма должна быть построена в масштабе  $k_1 = l_{OA}/OA$ . Справа от схемы построена линия полюсов  $p-p$ . От этой линии откладываются скорости точек звеньев в масштабе  $k_v = V_A/pa$ . Условимся положительные скорости направлять вправо, отрицательные – влево. Точки на линии полюсов находятся в проекционной связи с точками на механизме. Построение плана скоростей начинается с точки  $A$ . Скорость точки  $C$  равна нулю, эта точка является МЦС для блока сателлитов. Линия  $ca$  на плане скоростей называется картиной распределения скоростей. Она обладает тем свойством, что на ней находятся концы векторов скоростей точек, лежащих на блоке сателлитов. Это свойство обосновано выше. Тогда, проведя линию проекционной связи, найдем скорость точки  $B$ . Соединив точки  $B$  и  $O$ , получим картину скоростей водила. Дальнейшее построение ясно из рис. 1.

Покажем, что угловая скорость звена пропорциональна тангенсу угла наклона соответствующей картины скоростей. Это следует из соотношения (2):

$$\Omega_1 = V_A / L_{OA} = k_v \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

Аналогичные выражения можно записать для угловых скоростей остальных звеньев.

Формула (1) позволяет по углу наклона найти угловые скорости. Однако можно избежать необходимости этого расчета, если произвести дополнительное построение плана угловых скоростей. Выбирается произвольный вертикальный отрезок  $sk$ , из точки  $k$  строятся под углами  $\alpha$  лучи до пересечения с горизонталью, проведенной через точку  $s$ . Из

построений следует, что, например,  $\operatorname{tg}\alpha = sa/sk$ . Следовательно, отрезки  $sa$ ,  $sc$ ,  $sb$ ,  $se$  выражают в масштабе угловые скорости  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_H$ ,  $\omega_6$ .

Графическое исследование дифференциального механизма производится аналогично, с той лишь разницей, что скорость точки  $C$  принимается равной нулю.

В отличие от рядовых механизмов планетарный механизм может существовать только при выполнении определенных соотношений между числами зубьев колес. Прежде всего, должно быть выполнено условие соосности. Оно состоит в том, что оси центральных, солнечного и опорного, колес, а также водила должны совпадать. В противном случае механизм заклинит. Из рассмотрения схем на рисунка 2 следует:  $a+b=c+d$ .

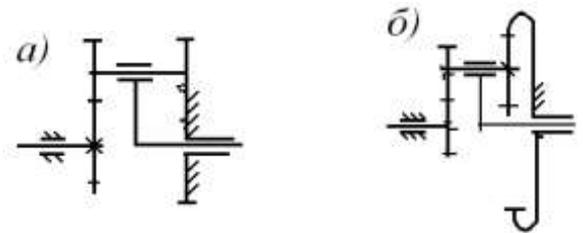


Рисунок 2-Схема соосности

(2)

Поскольку колеса изображены их делительными окружностями, то нетрудно через диаметры делительных окружностей записанное выше равенство представить в виде:  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$ .

(3)

Аналогичным образом для механизма по схеме  $b$  получено условие (3):

$$Z_1 + Z_2 = Z_4 - Z_3. \quad (4)$$

Условие соседства сателлитов выражается в том, что соседние сателлиты не должны касаться друг друга окружностями вершин. Из геометрических построений соотношение (4):

$$2r_{2a} < 2R_H \sin \pi/k. \quad (5)$$

где  $r_{2a}$  - радиус окружности вершин сателлита,

$R_H$  - радиус водила,

$k$  - число сателлитов в механизме.

Выразив радиусы через модули и числа зубьев, и произведя преобразования, получим:

$$\sin \pi/k > (Z_2+2)/(Z_1+Z_2) \quad (6)$$

Формула (2) позволяет подсчитать максимальное число спутников. Впрочем, эту задачу можно решить и чисто графически.

При сборке трехколесного планетарного механизма может оказаться, что после установки первого спутника остальные спутники установить нельзя. Это происходит потому, что поставленный первым спутник полностью определяет взаимное положение центральных колес. Установим условия, налагаемые на числа зубьев, при которых будет происходить собираемость механизма.

Будем считать, что спутник имеет четное число зубьев, тогда впадины на центральных колесах можно расположить друг против друга. Повернем колесо на целое число  $E$  угловых шагов [5]

$$\varphi_1^E = E\varphi_1, \quad (7)$$

где  $\varphi_1 = 2\pi/Z_1$ .

Тогда впадины между зубьями расположатся друг против друга и можно поставить следующий спутник. Подсчитаем угол поворота водила [6]:

$$\Phi_1^E / \varphi_H^E = U_{1H}. \quad (8)$$

Отсюда

$$\Phi_H^E = 2\pi E / Z_1 U_{1H}. \quad (9)$$

Воспользовавшись формулой Виллиса, выразим  $U_{1H}$  через  $U_{13}^H$  и преобразуем вышезаписанную формулу [7]:

$$\Phi_H^E = 2\pi E / (Z_1 + Z_3). \quad (10)$$

Таким путем можно установить  $k$  сателлитов, если расположить их равномерно [8]:

$$k=2\pi/\varphi_H^E=(Z_1+Z_3)/E. \quad (11)$$

Поскольку  $k$  – целое число,  $Z_1+Z_3$  должно быть кратно числу сателлитов. Аналогичные результаты получены и при нечетном числе зубьев сателлитов. Для передач с двойными сателлитами условие сборки можно получить аналогичным образом.

### **Литература:**

1. Детали машин: Справочник// Под ред. Ачеркана.Н.С. В 3-х тт.– М.: Машиностроение, 1968-1969.
2. Детали машин: Атлас конструкций// Под ред. Решетова Д.Н. – М.: Машиностроение, 1988.
3. Детали машин в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов// Под ред. Ничипорчика С.Н.– Минск: Вышэйша Школа, 1981.
4. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин.– М.: Высшая школа, 2001.
5. Иванов М.Н. Детали машин.– М.: Высшая школа, 1991.
6. Иосилевич Г.Б. Детали машин.–М.: Машиностроение,1988.
7. Крайнев А.Ф. Детали машин: Словарь-справочник. М.: Машиностроение, 1992.
8. Проектирование полноприводных колесных машин: В 2 т. Т. 1. Учебник для вузов. Б.А. Афанасьев, Н.Ф. Бочаров, Л.Ф. Жеглов;// Под ред. А.А. Полунгяна.–М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.–488 с.