

## ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Асп. Д.В. ДЕРЯБИН, д-р техн. наук, проф. А.Ф. ЕМЕЛЬЯНОВ,  
д-р техн. наук, проф. Л.О. ШТРИПЛИНГ

*Рассматривается влияние погрешностей отдельных звеньев планетарной передачи на угловое положение выходного звена на примере планетарной передачи  $2k-h$ , выполненной по схеме  $A_{ha}^b$ .*

*In article influence of errors of its separate parts on angular position of a target link is considered by the example of planetary transfer  $2k-h$ , executed under circuit  $A_{ha}^b$ .*

Рассмотрим передачу  $2k-h$ , выполненную по схеме  $A_{ha}^b$ . Выявим, как влияют погрешности отдельных ее звеньев на угловое положение выходного звена. Поскольку выходным звеном передачи является водило, положение которого напрямую зависит от положения сателлитов, то, определив местоположение последних, установим и отклонение выходного звена. Кинематическая схема и схема возможного сочетания погрешностей в произвольный момент времени для всех потоков передачи приведены на рис. 1. Для наглядности выбран момент времени, когда в одном из потоков наблюдается сочетание погрешностей, приводящее к максимально возможному провороту выходного звена.

Как видно из рисунка, погрешности центрального зубчатого колеса  $a$  и находящегося с ним в зацеплении профиля зубчатого венца сателлита, который обозначен  $q_1$ , приводят к провороту всего сателлита  $q$  относительно его полюса зацепления с другим центральным зубчатым колесом, т.е. колесом  $b$ . При таком провороте ось сателлита сместится по дуге окружности на величину

$$e' = 0,5(e_a + e_{q1}).$$

Аналогично проявят себя погрешности колеса  $b$  и контактирующего с ним профиля  $q_2$  зубчатого венца сателлита, сместив ось сателлита еще на величину

$$e'' = 0,5(e_b + e_{q2}),$$

где  $e_a, e_b, e_{q1}, e_{q2}$  — обобщающие обозначения проявления погрешностей центральных зубчатых колес  $a$  и  $b$  и разных зубчатых венцов сателлита  $q$ . Индекс при погрешности соответствует общепринятому обозначению зубчатого колеса в планетарной передаче.

Угол, на который вследствие всех этих смещений повернется водило, отклонившись от заданного положения, будет определяться по формуле

$$\delta\varphi = \frac{206,3}{r_h} (0,5(e_a + e_{q1}) + 0,5(e_b + e_{q2}) + E_h \cos \varphi_h), \quad (1)$$

где  $\frac{206,3}{r_h}$  — коэффициент перевода линейных величин в угловые;  $r_h$  — радиус водила,  $r_h = \frac{r_a^h + d_b}{4}$ ;  $d_a, d_b$  — делительные диаметры центральных зубчатых колес, мм;  $\varphi_h$  — угол, определяющий направление вектора погрешности водила.

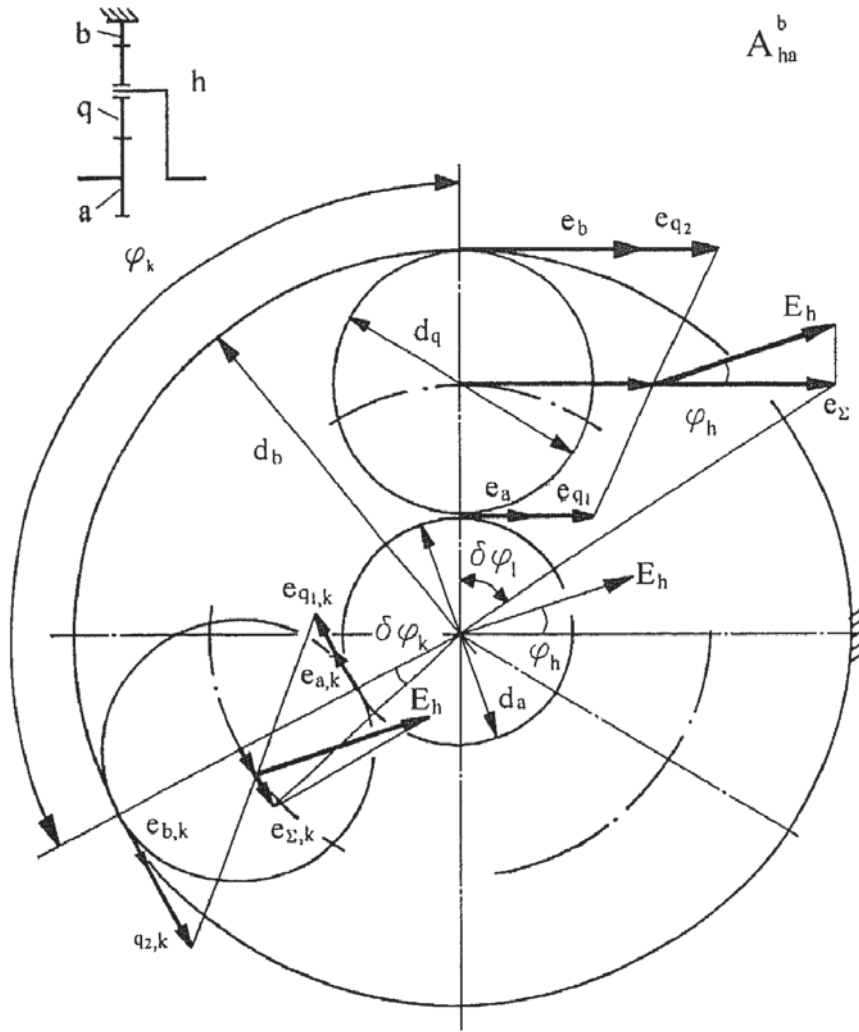


Рис. 1

Текущее значение углового отклонения выходного звена, которое вызывает в каждый конкретный момент времени  $k$ -ый поток передачи, с учетом частотного проявления первичных погрешностей можно записать следующей формулой

$$\begin{aligned}
 \delta\varphi_k(\omega_i t) = & \frac{206,3}{d_a + d_b} \left[ (E_a \cos(\omega'_a t + \varphi_a + \varphi_k) + E_{q1} \cos(\omega'_q t + \varphi_{q1} + \varphi_k) + \right. \\
 & + E_{za} \cos(z_a \omega'_a t + \varphi_{za}) + E_{zq1} \cos(z_q \omega'_q t + \varphi_{zq1}) \left. \right) + \\
 & + (E_b \cos(\omega'_b t + \varphi_b + \varphi_k) + E_{q2} \cos(\omega'_q t + \varphi_{q2} + \varphi_k) + E_{zb} \cos(z_b \omega'_b t + \varphi_{zb}) + \\
 & + E_{zq2} \cos(z_q \omega'_q t + \varphi_{zq2}) \left. \right) + 4E_h \cos(\varphi_h + \varphi_k) \left. \right],
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где  $E_a, E_b, E_{q1}, E_{q2}, E_{za}, E_{zb}, E_{zq1}, E_{zq2}$  — суммарные погрешности колес и венцов сателлита, проявляющиеся с относительными частотами вращения валов и с зубцовыми частотами, соответственно, мкм;  $\varphi_k$  — угол, определяющий положение  $k$ -го потока в передаче,



$\varphi_k = \frac{2\pi(k-1)}{n_\omega}$ ;  $n_\omega$  — число потоков в планетарной передаче;  $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_{q1}, \varphi_{q2}, \varphi_{za}, \varphi_{zb},$

$\varphi_{zq1}, \varphi_{zq2}$  — фазовые углы, задающие первоначальную ориентацию погрешностей зубчатых колес в передаче;  $z_q$  — число зубьев сателлита;  $\omega'_a, \omega'_b, \omega'_q$  — частоты проявления погрешностей зубчатых колес,  $\text{с}^{-1}$ .

Таким образом, получена математическая модель формирования текущего значения кинематической погрешности планетарной передачи, которая позволяет на стадии проектирования выявлять звенья, вносимые в амплитудно-частотную характеристику передачи, максимальные значения на определенных частотах.

621.864.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ДВУХМАССОВОГО ВИБРАЦИОННОГО РОБОТА\*

*Д-р техн. наук, проф. С.Ф. ЯЦУН, канд. техн. наук, доц. В.Я. МИЩЕНКО,  
канд. техн. наук, докторант Д. И. САФАРОВ*

*Исследуется поведение двухмассовой вибрационной системы, моделирующей динамику вибрационного мобильного робота, состоящего из двух масс, связанных между собой упругим элементом и электромагнитным приводом. Оба корпуса снабжены реверсивными механизмами свободного хода, обеспечивающими асимметрию силы трения, между корпусами робота и опорной поверхностью.*

*This paper shows the mathematical model of two masses vibrating robot which can be used for in pipe inspection and results of numerical calculations of motion of the robot dependence on some parameters. This robot has electro-magnetic vibrating drive and nonlinear spring connecting the masses of robot.*

Вибрационные роботы просты по конструкции и не требуют специальных движителей, таких, как колеса, гусеницы или ноги. Это делает вибрационные роботы перспективными для движения не только по поверхностям, но и внутри плотных сред, препятствующих проникновению робота. Возможно, микророботы подобного типа найдут применение в медицине: например, для перемещения диагностического датчика в сосудистой системе и внутренних полостях с целью мониторинга пораженного участка и доставки лекарственного препарата к нему.

Мобильные устройства, которые могут передвигаться без специальных движителей, взаимодействуя с внешней средой непосредственно своим корпусом, в последнее время привлекают внимание исследователей. Большой цикл работ [1—11] посвящен роботам, представляющим собой цепь жестких звеньев, соединенных между собой вращательными шарнирами, в которых расположены приводы. Эти приводы создают управляющие моменты, внутренние по отношению к многозвеннику. Между многозвенником и поверхностью, по которой он движется, действует сухое трение. Управляя моментами в шар-

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 04-01-04002 и 05-08-33382) и Немечского научно-исследовательского общества (DFG) (проект №Zi. 540/6-1).