

РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ

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

Поскольку значение кинематической погрешности для планетарной передачи без специальных требований к сборке определяется сочетанием случайных величин, то и ее расчет необходимо вести с применением вероятностных методов.

As value of a kinematic error for planetary transfer without special requirements to assembly is defined by a combination of random variables also its calculation it is necessary conduct with application probability methods.

Используя опыт расчета кинематических цепей, состоящих из нерегулируемых зубчатых передач [1, 2], вероятностное значение кинематической погрешности планетарной передачи будем определять по зависимости

$$\delta\varphi_p = 0,5K_h \left(\sum_{j=1}^3 (\delta\varphi_{\max j} + \delta\varphi_{\min j}) + t_v \sum_{j=1}^3 (\delta\varphi_{\max j} - \delta\varphi_{\min j})^2 \right), \quad (1)$$

где $\delta\varphi_{\max j}$ — приведенное к выходному валу, максимально возможное значение кинематической погрешности, которое способна вызвать пара соприкасающихся зубчатых колес; $\delta\varphi_{\min j}$ — приведенное к выходному валу, минимально возможное, т.е. рассчитанное с учетом всех возможных компенсаций, значение кинематической погрешности той же пары зубчатых колес; t_v — коэффициент, принимается в зависимости от процента риска P по табл. 1 [1]; K_h — коэффициент, учитывающий влияние количества потоков планетарной передачи и точность изготовления водила, определяется по графикам, аналогичным приведенному на рис. 1 (по нашим расчетам, при точности изготовления водила не ниже точности изготовления зубчатых колес и количестве потоков не менее 3-х, для планетарных передач с одновенцовыми сателлитами можно принимать $K_h = 0,67$ и для планетарных передач с двухвенцовыми сателлитами $K_h = 0,53$).

Приведенные максимально и минимально возможные значения кинематической погрешности пар зубчатых колес рассчитываются по формулам

$$\delta\varphi_{\max j} = \frac{412,5}{\ell} \xi_j K_j \left((E_s + E_{sz}) + (E_p + E_{pz}) \right), \quad (2)$$

$$\delta\varphi_{\min j} = \frac{412,5}{\ell} \xi_j K_{Tj} K_{sj} \left((E_s + E_{sz}) + K_c (E_p + E_{pz}) \right), \quad (3)$$

где ℓ , ξ_j — параметры, принимаемые по табл. 2; индексы «s» и «р» при обозначении суммарных погрешностей принимают соответствующее обозначение, в зависимости от схемы передачи и «j» (по табл. 4); K_j , K_{sj} — коэффициенты фазовой компенсации, принимаются, в зависимости от отношения чисел зубьев находящихся в зацеплении колес (табл. 3) [1]; K_{Tj} — коэффициент точности зубчатых колес, при степени точности колес 7 или 8 — $K_T = 0,71$, в остальных случаях $K_T = 0,62$; K_c — коэффициент,

Таблица 1

Процент риска P	10	4,5	1,0	0,27
коэффициент t_v	0,26	0,35	0,48	0,57

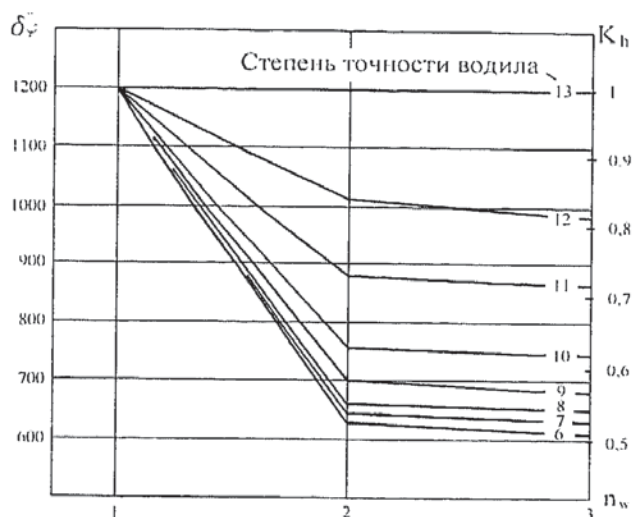


Рис. 1

Таблица 2

Расчет коэффициентов

	A_{ha}^b	A_{hb}^a	A_{ba}^h	B_{ha}^c	C_{ch}^b
1	$d_a + d_b$		d_b	$d_c - d_f$	d_c
ξ_1	1			$\frac{z_f z_a}{z_a z_f + z_c z_q}$	0
ξ_2	1			0	$\frac{d_f}{d_q}$
ξ_3	0			$\frac{d_q}{d_c - d_a}$	1
	D_{ha}^r	D_{hb}^c	D_{ha}^c	$(3k)_{ca}^b$	$(3k)_{ca}^b$
1	$d_c - d_f$		$d_c + d_f$	d_e	
ξ_1^*	$\frac{1}{\cos \gamma (1 + \cos \gamma)}$		0,5	$\frac{z_a (z_q z_r - z_b z_f)}{z_q z_r (z_a + z_b)}$	$\frac{z_a (z_r - z_b)}{z_r (z_a + z_b)}$
ξ_2^*	$\frac{1}{\cos \gamma (1 + \cos \gamma)}$		0,5	$\frac{d_f}{d_q}$	1
ξ_3	$\frac{z_r - z_f}{z_r}$		$\frac{z_r + z_f}{z_r}$	1	

Таблица 3

Коэффициенты фазовой компенсации

Отношение чисел зубьев	K	K_s	Отношение чисел зубьев	K	K_s
1,0...1,5	0,98	0,30	4,0...4,5	0,96	0,90
1,5...2,0	0,85	0,76	4,5...5,0	0,96	0,87
2,0...2,5	0,83	0,75	5,0...5,5	0,98	0,85
2,5...3,0	0,93	0,74	5,5...6,0	0,96	0,88
3,0...3,5	0,97	0,75	6,0...6,5	0,97	0,94
3,5...4,0	0,96	0,80	свыше 6,5	0,98	0,99

Таблица 4

Таблица для выбора индексов

Параметры	A, B, C, (3k)			D		
	s	p	z	s	p	z
$j = 1$	a	q_1	z_q	$a(b)^*$	q_1	z_q
$j = 2$	b	q_2		q_2	f_1	
$j = 3$	e	f	z_f	e	f_2	

* — для передачи D_{hb}^{ef}

учитывающий компенсацию погрешности сателлита, для планетарной передачи с одновенцовыми сателлитами $K_c = 0$, для планетарных передач с двухвенцовыми сателлитами $K_c = |1 - d/d_q|$.

Вероятностный расчет амплитуды кинематической погрешности планетарной передачи S_{el}^b , параметры которой приведены выше, по формуле (1) с процентом риска $P = 10\%$ дает значение $\delta\varphi_{P=10\%} = 585$ угл. с. Экспериментальное исследование 8-ми таких передач, изготовленных малой серией на одном и том же оборудовании, дали следующие амплитуды стационарной динамико-кинематической погрешности: 526, 513, 408, 524, 318, 443, 378, 550 угл. с.

Сравнение представленных результатов, а также результатов расчета и экспериментальных данных, полученных при исследовании одиночных образцов различных типов планетарных передач, позволяет сделать вывод об адекватности предлагаемого метода расчета реальному процессу образования кинематической погрешности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астроледящие системы / Под ред. Б.К. Чемоланова. — М.: Машиностроение, 1977. — 304 с.
2. Тимофеев Б. П. Характеристики распределения погрешностей передаточного отношения пары зубчатых колес и простого ряда // Известия вузов. Машиностроение. — 1985. — № 2. — С. 20—26.