

УДК 621.83.06

А. В. Капитонов, канд. техн. наук, доц.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ С МНОГОПЕРИОДНЫМИ ДОРОЖКАМИ

В статье представлены разработанные методы контроля геометрических параметров деталей с многопериодными дорожками планетарных малогабаритных передач, приведены графики и таблицы с результатами оценки точности деталей, показаны причины образования погрешностей, проведен спектральный анализ и получены гармонические составляющие погрешностей изготовления многопериодных дорожек, позволяющие оценить точность деталей и передачи в сборе.

Детали с многопериодными дорожками являются основными и наиболее сложными по геометрическим параметрам при изготовлении в конструкции планетарных малогабаритных передач [1, 2]. В настоящее время нет комплексных методов их контроля после изготовления.

Для оценки погрешностей изготовления дорожек были установлены и приняты следующие параметры: накопленная погрешность и погрешность шага многопериодной дорожки, погрешность профиля внешней и внутренней поверхностей дорожки в торцовом сечении диска, погрешность вершин и впадин и кинематическая погрешность.

Для измерения этих погрешностей разработано приспособление (рис. 1), которое состоит из делительного стола 1, оправки 3, индикатора часового типа 4, закрепленного на штативе 5. При изме-

рении диск 2 базируется на оправке 3 по отверстию и торцу на делительном столе. Ножка индикатора соприкасается с боковой поверхностью дорожки, и индикатор устанавливается на ноль. Каждый поворот на угловой шаг осуществляется по нулевому показанию индикатора. При этом действительный угловой шаг определяется по лимбу делительного стола.

Погрешность измерения на этом приспособлении составляет 1 угловую минуту. Она равна цене деления лимба делительного стола 1. На точность измерения также будут влиять погрешность индикатора 4 и радиальное биение оправки 3. Однако эти погрешности незначительны, и их можно не учитывать (при измерении использовался индикатор часового типа с ценой деления 2 мкм, биение оправки не превышало 10 мкм).

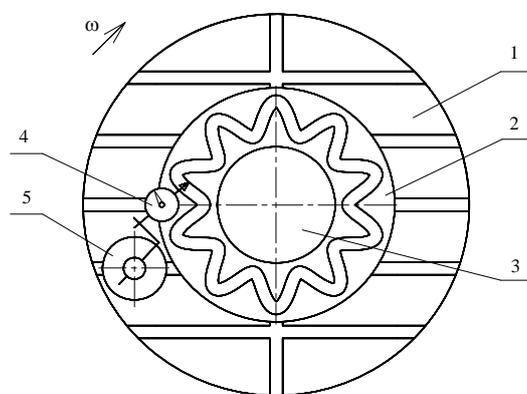


Рис. 1. Схема приспособления для измерения погрешностей многопериодной дорожки

Для оценки накопленной погрешности шага предложен метод измерения по внешней и внутренней поверхностям многопериодной дорожки на трех или пяти различных радиусах. На рис. 2 и 3 представлены схемы измерения накоп-

ленной погрешности углового шага дорожки с числом периодов $z_2 = 10$ по трем окружностям. Все измерения проводились от одного и того же фиксированного положения диска.

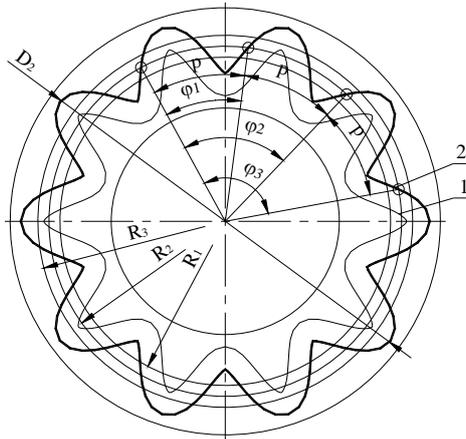


Рис. 2. Схема измерения накопленной погрешности шага по внешней поверхности дорожки

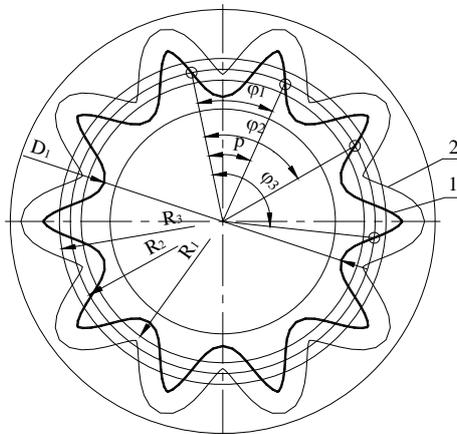


Рис. 3. Схема измерения накопленной погрешности шага по внутренней поверхности дорожки

На рис. 4 представлены графики, полученные по результатам измерений накопленной погрешности шага многопериодной дорожки с тринадцатью периодами ($z_2 = 13$) по внешней поверхности по пяти окружностям.

Жирными линиями на графиках показаны накопленные погрешности, измеренные по средним окружностям.

Кривые на графиках обозначены номерами, где наименьшему номеру соответствует наименьший радиус.

На графиках F_p – накопленная погрешность шага дорожки, n – номер накопленного шага измерений. Как видно из рис. 4, графики имеют выраженную однопериодную синусоиду. Гармонический анализ показал, что при разложе-

нии в спектр амплитуд гармонических составляющих накопленной погрешно-

сти шага наибольшее значение имеет амплитуда первой гармоники.

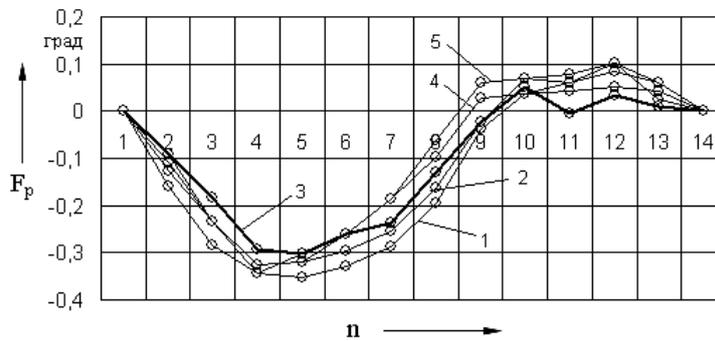


Рис. 4. Графики накопленной погрешности шага многопериодной дорожки

Основной погрешностью здесь является погрешность установки диска при формообразовании дорожки. При этом ось отверстия диска оказалась смещенной относительно средней окружности дорожки на величину эксцентриситета e , который характеризует величину амплитуды первой гармоники как при измерении накопленной погрешности шага, так и при работе передачи. Величину эксцентриситета e можно определить, измерив радиальные биения вершин и впадин дорожки.

Установлено, что радиальное биение вершин и впадин значительно превышает погрешности их диаметров. Так, первая гармоника погрешностей диаметров вершин и впадин дорожек в 4...5 раз меньше первой гармоники их радиального биения. Таким образом, многопериодная кривая смещена относительно оси отверстия на величину эксцентриситета e , равную разности амплитуд первых гармоник этих погрешностей. Причиной этого является погрешность установки диска в приспособлении, влияющая при обработке на величину накопленной погрешности шага. Отфильтровав амплитуду первой гармоники, получим графики, которые не будут учитывать эксцентриситет e .

Вычтем из функции накопленной

погрешности шага

$$F_p = \sum_{k=1}^n c \sin(k\varphi + \varphi_k) \quad (1)$$

функцию c амплитудой, равной погрешности установки, и той же начальной фазой

$$f_p = c_{1\phi} \sin(\varphi + \varphi_k), \quad (2)$$

где c – амплитуда первой гармоники накопленной погрешности; $c_{1\phi}$ – амплитуда фильтруемой гармоники, равная погрешности установки диска; φ_k – начальная фаза; k – номер гармоники.

Амплитуду $c_{1\phi}$ определим из следующих зависимостей:

$$c_{1\phi} = c_1 n, \quad (3)$$

$$n = \frac{a_{дв}}{a_б}, \quad (4)$$

где c_1 – амплитуда первой гармоники накопленной погрешности шага; $a_{дв}$ – амплитуда первой гармоники погрешности диаметра вершин или впадин дорожки; $a_б$ – амплитуда первой гармоники биения вершин или впадин.

На рис. 5 представлены график накопленной погрешности шага, измерен-

ной по средней окружности, с фильтрованной первой гармоникой и спектр амплитуд внешней поверхности дорожки диска с $z_2 = 13$. После фильтрации пер-

вой гармоники дисков с $z_2 = 13$ накопленная погрешность уменьшилась в 2...3 раза (табл. 1).

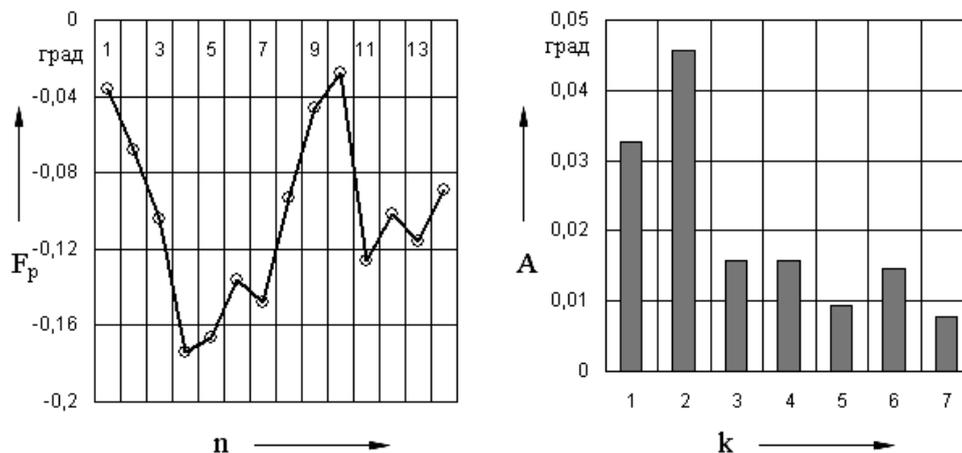


Рис. 5. Накопленная погрешность шага дорожки с отфильтрованной первой гармоникой

Табл. 1. Накопленная погрешность и погрешность шага многопериодной дорожки

Погрешность	$z_2 = 10$		$z_2 = 13$ диск 1		$z_2 = 13$ диск 2	
	Внешняя поверхность дорожки	Внутренняя поверхность дорожки	Внешняя поверхность дорожки	Внутренняя поверхность дорожки	Внешняя поверхность дорожки	Внутренняя поверхность дорожки
Наибольшая накопленная погрешность по среднему диаметру F_p , град (угл. мин)	0,2 (12)	0,3166 (19)	0,3551 (21,3)	0,5217 (31,3)	0,4141 (24,85)	0,4948 (29,69)
Наибольшая накопленная погрешность по среднему диаметру F_p с фильтрованной 1-й гармоникой, град (угл. мин)			0,1458 (8,75)	0,1715 (10,29)	0,2177 (13,06)	0,1181 (7,08)
Наибольшая погрешность шага f_p , град (угл. мин)	0,1832 (10,99)	0,2666 (16)	0,2166 (13)	0,3166 (19)	0,3333 (20)	0,3166 (19)
Соотношение погрешности шага и накопленной погрешности f_p/F_p , град (угл. мин)	0,916	0,842	0,61	0,606	0,804	0,639

В табл. 1 сведены значения накопленной погрешности шага с фильтрованной и нефильтрованной первой гармоникой, а также значения погрешности шага, который определялся как разность действительного и номинального угловых шагов на средней окружности (см. рис. 2 и 3), и ее соотношение с накопленной погрешностью.

Измерение погрешности шага по окружностям разных радиусов позволяет оценить погрешности профиля многопериодной дорожки в сечении, перпендикулярном оси вращения диска. Эти погрешности можно определить как разность действительного (измеренного) и номинального углового шага на

окружностях разных радиусов для каждого периода дорожки:

$$f_{ij} = \varphi_{ijd} - \varphi_{ijn}; \quad (5)$$

$$f_{\max} = f_{i\max} - f_{i\min}, \quad (6)$$

где φ_{ijd} – измеренный угловой шаг i -го периода дорожки и j -го радиуса; φ_{ijn} – номинальный угловой шаг i -го периода дорожки и j -го радиуса; f_{\max} – наибольшая разность угловых шагов i -го периода дорожки, характеризующая погрешности ее профиля.

Предложенный метод измерения характеризует погрешность профиля не каждого полупериода внешней или

внутренней поверхностей дорожки, а двух одноименных (левых или правых) полупериодов одновременно. На схеме (рис. 6) показано измерение шага для оценки погрешности профиля на одном угловом шаге внешней поверхности. Аналогично проводятся измерения на каждом шаге на обеих поверхностях.

На рис. 7 представлен график, на котором показаны погрешности профиля для каждого углового шага отдельно, по внешней поверхности диска с $z_2 = 13$. В табл. 2 приведены значения этих погрешностей для разных дисков.

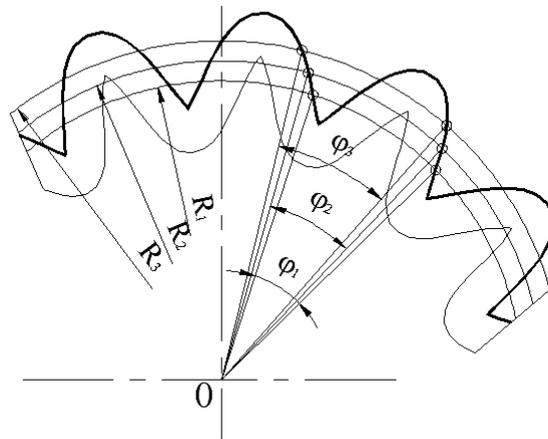


Рис. 6. Схема измерения погрешности профиля дорожки: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – измеренный угловой шаг на разных радиусах

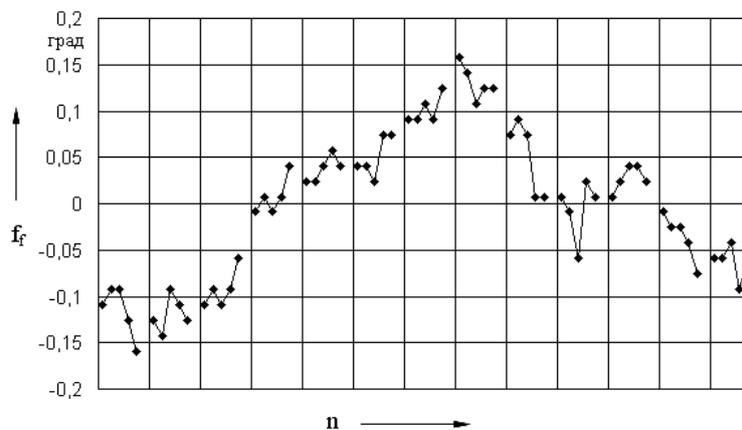


Рис. 7. Погрешность профиля поверхностей дорожки диска с $z_2 = 13$

Табл. 2. Кинематическая погрешность диска с многопериодной дорожкой

Погрешность	$z_2 = 10$		$z_2 = 13$ диск 1		$z_2 = 13$ диск 2	
	Внешняя поверхность дорожки	Внутренняя поверхность дорожки	Внешняя поверхность дорожки	Внутренняя поверхность дорожки	Внешняя поверхность дорожки	Внутренняя поверхность дорожки
Наибольшая накопленная погрешность по среднему диаметру F_p , град (угл. мин)	0,2 (12)	0,3166 (19)	0,3551 (21,31)	0,5217 (31,31)	0,4141 (24,85)	0,4948 (29,7)
Наибольшая погрешность профиля f_f , град (угл. мин)	0,0666 (4)	0,0668 (4)	0,0833 (5)	0,1 (6)	0,1 (6)	0,116 (7)
Наибольшая накопленная погрешность на разных диаметрах (наибольшая кинематическая погрешность F_i), град (угл. мин)	0,45 (27,01)		0,6717 (40,31)		0,6589 (39,54)	

Погрешность профиля многопериодной дорожки также оценивалась с помощью микроскопа. Измерения проводились отдельно для каждого периода дорожки. Полученные кривые совмещались с теоретическими кривыми, построенными с использованием программы AutoCAD, и определялась наибольшая погрешность профиля каждой из двух поверхностей дорожки как расстояние по нормали между теоретическими и экспериментальными кривыми. Результаты погрешности профиля многопериодной дорожки соизмеримы с результатами, полученными при измерении по методу, описанному выше.

Как известно, характеристикой ки-

нематической погрешности зубчатого колеса является сумма [3]

$$F_i = F_p + f_f. \quad (7)$$

где F_i – накопленная погрешность шага колеса; f_f – погрешность профиля зуба.

Эту же формулу можно применить и при оценке кинематической погрешности диска с многопериодной дорожкой. Тогда дискретную кинематическую погрешность диска определим, учитывая накопленную погрешность шага внешней и внутренней поверхностей дорожки на всех измеренных радиусах. Наибольшая кинематическая погрешность представлена на рис. 8.

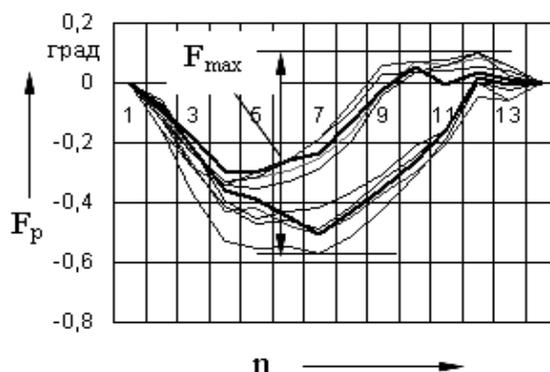


Рис. 8. Накопленная погрешность шага многопериодной дорожки и наибольшая кинематическая погрешность дисков

На точность углового шага, кроме погрешностей, образующихся при установке диска и непосредственном изготовлении дорожки также оказывают влияние погрешности обработки отверстия диска. Погрешность формы отверстия приводит к смещению его оси от номинального положения. Эта погрешность при векторном сложении с погрешностью установки диска, а также с погрешностями, возникающими при обработке дорожки, проявляется в большей степени в первой, второй и третьей гармониках накопленной погрешности шага. Окончательная обработка отверстий – шлифование.

Выводы

1. Разработанные методы контроля позволяют оценить точность обработки деталей с многопериодными дорожками, определить причины образования

погрешностей и управлять точностью геометрических параметров этих деталей на стадиях проектирования и изготовления.

2. Разработанные методы контроля также могут быть использованы при исследовании погрешностей деталей в лабораторных условиях и при их изготовлении на промышленных предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пашкевич, М. Ф.** Планетарные шариковые и роликовые редукторы и их испытания / М. Ф. Пашкевич, В. В. Геращенко. – Минск : БелНИИИТИ, 1992. – 248 с.
2. **Капитонов, А. В.** Методика оценки точности обработки периодических дорожек планетарных малогабаритных передач / А. В. Капитонов // Вест. МГТУ. – 2004. – № 1. – С. 60–64.
3. **Тайц, Б. А.** Точность и контроль зубчатых колес / Б. А. Тайц. – М. : Машиностроение, 1972. – 367 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 25.03.2011

A. V. Kapitonov
Methods of control of geometrical parameters of parts with multiperiod tracks

The scientific paper gives the developed methods of controlling the geometric parameters of the parts with multi-period tracks of small-sized planetary transmissions. Graphs and tables with the results of parts accuracy estimation are presented. The causes of error formation are shown. The spectral analysis is given and harmonic components of errors in manufacturing multi-period tracks are obtained, which allow estimating the accuracy of parts and transmission in the assembled condition.