

УДК 621.(06)

С.А. Жигунов

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОЛЕСА НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ПОГРЕШНОСТЬ ШАРИКОВОЙ РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Рассмотрены модели, устанавливающие связь между погрешностями изготовления многопериодного профиля центрального колеса и кинематической погрешностью передачи.

Обеспечение требуемой точности и плавности работы механических передач, особенно их новых типов, всегда являлось актуальной проблемой. Неравномерность вращения выходного звена приводит к неправильному функционированию рабочих звеньев всего механизма, повышенному шуму и вибрациям, снижению долговечности. Для традиционных передач (зубчатых, червячных) разработаны системы допусков на детали зацепления, придерживаясь которых гарантируется требуемая точность передач в сборе. Однако традиционные передачи не всегда обеспечивают требуемую компактность, малые габариты, низкую материалоемкость и трудоемкость производства, и в этой связи все большее значение приобретают исследования, направленные на повышение технического уровня новых типов передач, отвечающих современным требованиям.

Вопрос обеспечения точности шариковой радиально-плунжерной передачи в настоящее время решен не в полной мере. При разработке системы нормирования точности и плавности работы для этой передачи необходимо решить ряд задач, включая установление связей между погрешностями деталей зацепления и кинематической погрешностью передачи.

В [1, 2] были предложены результаты моделирования кинематической погрешности шариковой радиально-плунжерной передачи, возникающей от погрешностей диаметра шарика, радиуса эксцентрика, эксцентриситета эксцентрика, смещения осей ведущего и ведомого валов, а также от погрешности положения шариков. Продолжая эти исследования, в настоящей статье предложены модели, учитывающие взаимосвязь кинематической погрешности и погрешностей периодического профиля центрального колеса. По аналогии с [1, 2], результаты моделирования представлены в виде графиков и амплитудно-частотных спектров кинематической погрешности передачи.

К погрешностям центрального колеса относятся погрешность шага, накопленная погрешность шага профиля, радиальное биение профиля и погрешность обката.

Погрешность шага профиля многопериодного колеса f_p – наибольшее отклонение действительного шага от номинального, возникающее из-за радиальных и тангенциальных погрешностей формообразования профиля. Отклонения шагов зубьев профиля вызывают отклонение положения шариков относительно их номинального положения, смещение действительного положения ведомого звена относительно его номинального положения и определяют появление кинематической погрешности.

На рис. 1 приведена схема, иллюстрирующая влияние погрешности шага на кинематическую погрешность передачи $\Delta\varphi_2$. Погрешность шага f_{pi} принимаем положительной, если при отсчете в направлении вращения сепаратора (по стрелке A) это смещение увеличивает угловой параметр φ отверстия сепаратора (угол между началом отсчета и отверстиями), и отрицательной, если это смещение уменьшает параметр φ (рис. 1).

Величина кинематической погрешности передачи, вызванной погрешностью шага центрального колеса, зависит от погрешности шага как работающих, так и неработающих профилей зубьев. Если погрешность шага f_{pi} некоторого работающего профиля

центрального колеса с номером i , имеет положительное значение, то взаимодействующий с этим зубом шарик в результате силового воздействия на сепаратор вызовет дополнительный поворот ведомого звена на угол, определяемый величиной f_{pi} . Если $f_{pi} < 0$, то шарик не будет соприкасаться с профилем и погрешность его расположения не окажет влияния на положение ведомого звена передачи.

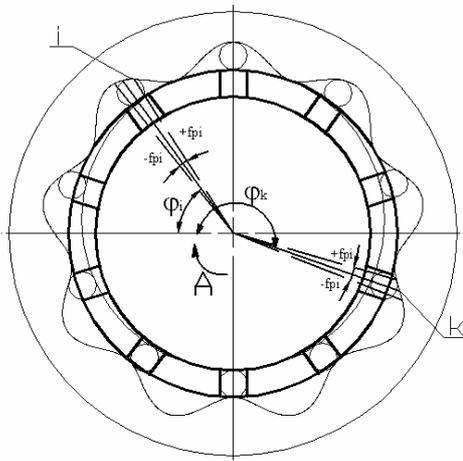


Рис. 1. Схема для оценки кинематической погрешности передачи от погрешности шага центрального колеса

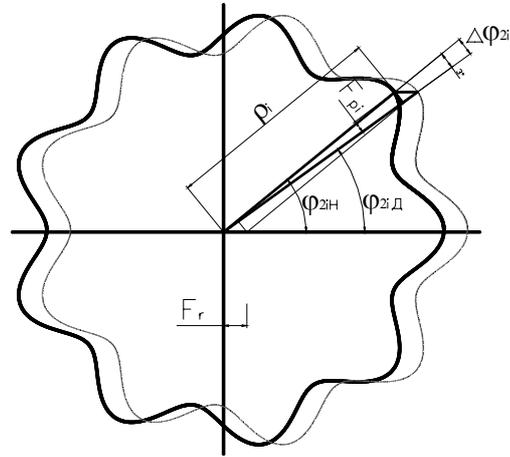


Рис. 2. Схема для определения кинематической погрешности передачи при радиальном биении профиля

В то же время, если погрешность шага f_{pk} некоторого неработающего профиля с номером k имеет отрицательное значение, то шарик в результате силового воздействия на этот профиль и сепаратор также вызовет дополнительный поворот ведомого звена на угол f_{pk} . Если f_{pk} неработающего профиля имеет положительное значение, то шарик не будет взаимодействовать с этим профилем и не вызовет появления кинематической погрешности.

В каждый момент времени разные шарики по отношению к началу отсчета будут иметь различные угловые смещения φ . В связи с тем, что система шариков объединена в единое целое сепаратором, а действительное положение ведомого звена определяется действительными положениями как рабочих, так и не работающих профилей, действительное мгновенное положение ведомого звена и его кинематическая погрешность в каждый момент времени будет определяться разностью дополнительных поворотов ведомого звена, вызванных наибольшим положительным смещением рабочих профилей и наибольшим по своей величине отрицательным смещением неработающих профилей, т.е.

$$\Delta\varphi_{2i} = -f_{pi} - f_{pk} \quad (1)$$

Накопленная погрешность шага центрального колеса F_p - это наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей в пределах полного оборота центрального колеса вокруг своей оси. Эта погрешность измеряется по дуге окружности с центром на оси вращения колеса.

Причиной появления накопленной погрешности шага является радиальное биение F_r профиля (средней окружности) центрального колеса относительно его оси вращения и погрешность обката F_c , характеризующая тангенциальную составляющую накопленной погрешности шага.

Радиальное биение F_r определяет смещение оси средней окружности центрально-

го колеса относительно оси ведомого вала, а следовательно, и изменение положения точек соприкосновения шариков с периодическим профилем центрального колеса. Новое положение определяется дополнительным углом поворота шарика $\Delta\varphi_{2i}$.

Как видно из схемы, представленной на рис. 2, смещение средней окружности многопериодного профиля на величину его радиального биения F_r (без учета погрешности обката) вызывает появление накопленной погрешности шага F_p . В свою очередь, погрешность углового параметра шарика $\Delta\varphi_{2i}$ связана с величиной F_p и номинальным радиусом-вектором точки ρ_{in} .

Значение $\Delta\varphi_{2i}$ в соответствии с расчетной схемой (рис. 2) определим из уравнений $F_p = F_r \sin \varphi_{2iH}$ и $\Delta\varphi_{2i} = F_p / \rho_{in}$. Таким образом, получим формулу

$$\Delta\varphi_{2i} = F_r \sin \varphi_{2iH} / \rho_{in}. \quad (2)$$

Погрешность $\Delta\varphi_{2i}$ углового расположения шариков определяет кинематическую погрешность передачи. В связи с тем, что шарики в передаче объединены сепаратором в единое целое, в каждый момент времени действительное угловое положение ведомого звена будет определяться наибольшей величиной $\Delta\varphi_{2i}$. Значение наибольшей кинематической погрешности передачи определяется величиной $\Delta\varphi_{2i \max}$, выбранной из ряда значений $\Delta\varphi_{2i}$, вычисленных по мере увеличения номинального значения φ_{2iH} в пределах одного полного оборота ведомого вала. По вычисленным значениям $\Delta\varphi_{2i}$ можно построить график, а затем и амплитудно-частотный спектр кинематической погрешности передачи от радиального биения профиля F_r .

Погрешность обката F_c – погрешность, вызванная неточностями станка при формообразовании многопериодного профиля, определяемая как разность между действительным и номинальным накопленными шагами центрального многопериодного колеса за полный оборот выходного вала, измеренная от технологической оси. Технологической осью колеса является ось, вокруг которой колесо вращается в процессе окончательной механической обработки. Погрешность обката F_c всегда имеет место при обработке периодического профиля на станках и определяет соответствующую погрешность $\Delta\varphi_{2i}$ углового расположения шариков, т.е.

$$\Delta\varphi_{2i} = F_c. \quad (3)$$

Кинематическую погрешность передачи от погрешности обката будут определять только те шарики, которые при изменении их углового положения будут иметь силовой контакт с профилем центрального колеса. По вычисленным значениям $\Delta\varphi_{2i}$ можно построить график, а затем и амплитудно-частотный спектр кинематической погрешности передачи от погрешности обката F_c .

По найденным значениям кинематической погрешности передачи по формулам (1)...(3) за полный оборот ведомого вала можно построить ее график, а также произвести спектральный анализ. С помощью специальной программы-макроста в среде Microsoft Excel были определены 2500 числовых значений кинематической погрешности передачи за один оборот ее ведомого вала и затем представлены в виде дискретного амплитудно-частотного спектра, содержащего до 1250 гармонических составляющих. На рис. 3...5 по оси ординат отложены величины кинематических погрешностей в минутах, а по оси абсцисс – номера вычислений (а) и номера гармонических составляющих спектра (б).

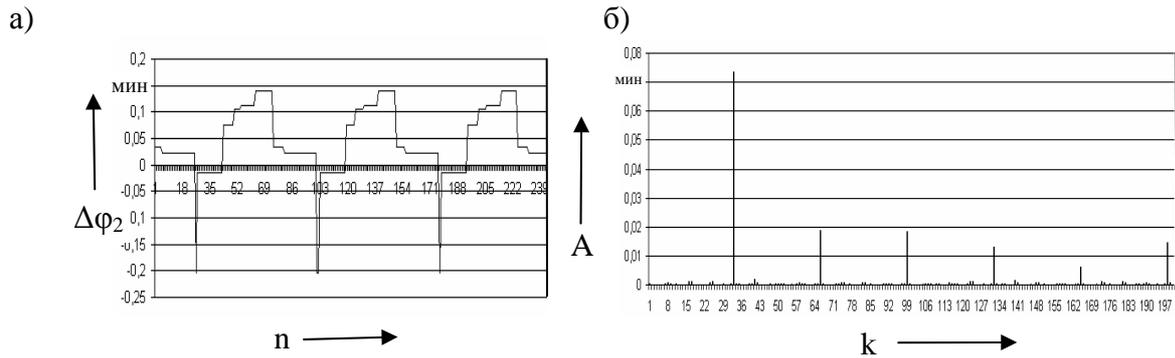


Рис. 3. Кинематическая погрешность (а) и ее дискретный амплитудно-частотный спектр (б), вызванные погрешностью шага центрального колеса $f_p = 0,9$ мин

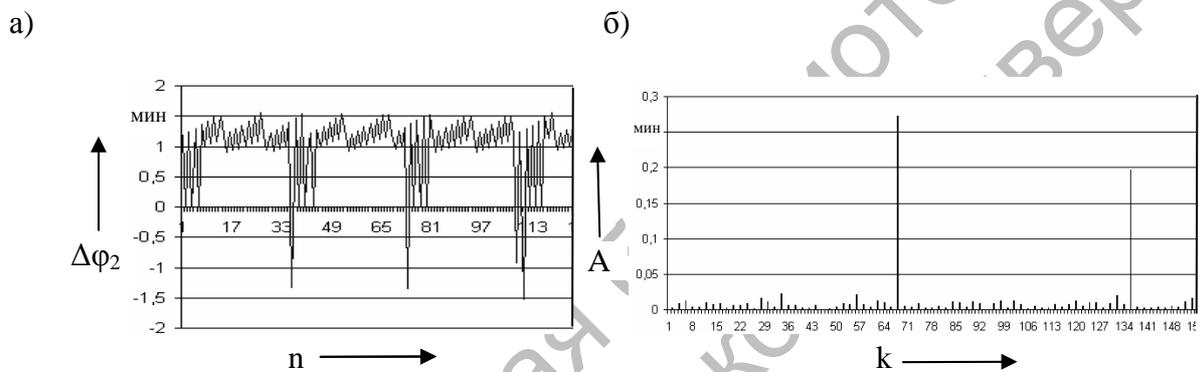


Рис. 4. Кинематические погрешности (а) и их дискретный амплитудно-частотный спектр (б), вызванные радиальным биением профиля центрального колеса $F_r = 0,05$ мм

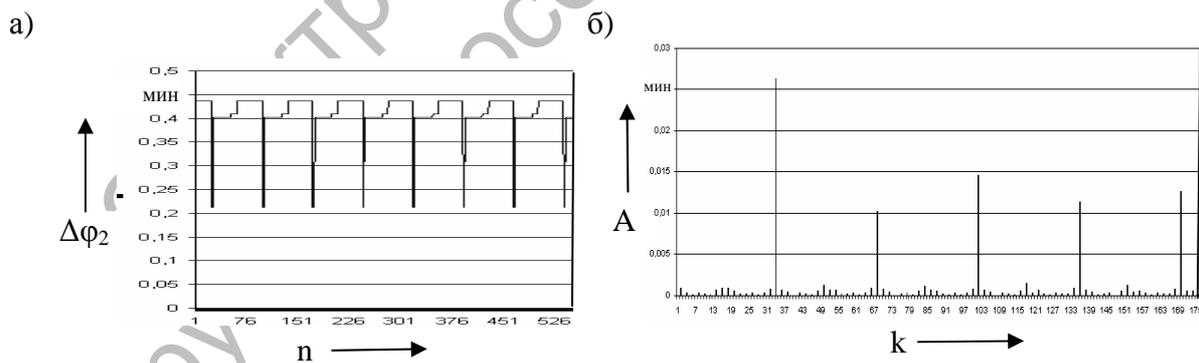


Рис. 5. Кинематические погрешности (а) и их дискретный амплитудно-частотный спектр (б), вызванные погрешностью обката $F_c = 0,9$ мин

Кинематическая погрешность рассчитывалась для шариковой радиально-плунжерной передачи с передаточным отношением $u = 34$, эксцентриситетом эксцентрика $e = 2,5$ мм; средним радиусом ведущего звена $r = 92,5$ мм; диаметром шаровых плунжеров $D = 10$ мм; количеством плунжеров $n = 34$; количеством периодов профиля центрального колеса $m_2 = 33$.

На рис. 3 представлены график кинематической погрешности (а) и ее амплитудно-частотный спектр (б) при погрешности шага центрального колеса $f_p = 0,9$ мин. Из спектра (рис. 3, б) видно, что наибольшие амплитуды кинематической погрешности соответствуют гармоническим составляющим с частотами, кратными количеству периодов центрального колеса $m_2 = 33$ (33, 66, 132, 165 и 198). Это означает, что погрешность шага центрального колеса определяет плавность работы передачи, проявляясь многократно за один оборот ведомого вала.

На рис. 4 представлены результаты моделирования кинематической погрешности передачи, вызванной радиальным биением периодического профиля центрального колеса $F_r = 0,05$ мм. Из спектра видно, что наибольшие амплитуды кинематической погрешности соответствуют гармоническим составляющим с частотами, кратными числу шариков $n = 34$ (68, 136), что позволяет сделать вывод о том, что радиальное биение профиля также определяет плавность работы передачи, проявляясь многократно за один оборот ведомого вала.

На рис. 5 представлены результаты моделирования кинематической погрешности передачи, вызванной погрешностью обката центрального колеса $F_c = 0,9$ мин. Из спектра видно, что наибольшие амплитуды кинематической погрешности соответствуют гармоническим составляющим с частотами, кратными числу шариков $n = 34$ (68, 102, 136, 170), что позволяет сделать вывод о том, что погрешность обката, как и погрешности шага и радиального биения профиля центрального колеса, определяет плавность работы передачи, проявляясь многократно за один оборот ведомого вала.

Проверка показала, что результаты моделирования адекватны результатам экспериментальной оценки кинематической погрешности шариковой радиально-плунжерной передачи с геометрическими параметрами, соответствующими принятым при моделировании. Все рассмотренные погрешности проявляются многократно за оборот ведомого вала, и, следовательно, должны быть приняты в качестве нормируемых показателей при разработке системы нормирования точности шариковой радиально-плунжерной передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование кинематической погрешности планетарной радиально-плунжерной передачи / М. Ф. Пашкевич [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : межведомств. сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. – Вып. 18 : Машиностроение. – Мн.: Технопринт, 2002. – С. 445-450.
2. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика / М. Ф. Пашкевич [и др.]. - Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2003. - 221 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 27.10.2005

S.A. Zhigunov
The central tooth wheel errors'
influence on kinematical error
of ball radial-plunger transmission
Belarusian-Russian University

The special mathematical models between kinematical error and errors of central tooth wheel are concerned.