

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ НА ЕЁ КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ

Васильев М. А.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва, Россия

Погрешности изготовления механического редуктора исполнительного механизма электропривода приводят к появлению дополнительной составляющей динамической ошибки и могут существенно ухудшить точность следящей системы. Использование в качестве редуктора волновых передач с телами качения теоретически позволяет увеличить кинематическую точность привода за счет многопарного зацепления в передаче, однако практические оценки влияния погрешностей ее изготовления на точность привода в технической литературе либо отсутствуют, либо связаны с большим количеством допущений при анализе и не могут считаться точными. В данной работе предлагается методика исследования влияния технологических погрешностей при изготовлении волновой передачи с телами качения на ее кинематическую точность, основанная на моделировании в программной среде *MSC.Adams*.

Кинематическая точность волновых передач с телами качения определяется точностью монтажа и допусками на отклонения от номинальных размеров основных деталей передачи (жесткого колеса, волнообразователя, тел качения, сепаратора, валов), которые в свою очередь определяются технологическими процессами, применяемыми при изготовлении деталей.

На точность изготовления волновой передачи с телами качения влияют следующие факторы:

- погрешности кинематических цепей зубонарезных и зубообрабатывающих станков и поверхностей зубообрабатывающего инструмента (вызывают неточность основного шага и профиля жесткого колеса);
- погрешности установки заготовки (например, ошибки установки заготовки при производстве жесткого колеса, приводящие к непараллельности направления движения фрезы и оси вращения заготовки, приводит к отклонению направления впадины; перекос заготовки волнообразователя может привести к эллипсности основной окружности и т. д.);
- точность установки режущего инструмента – радиальное биение фрезы и осевое биение шпинделя вызывает отклонение профиля жесткого колеса.
- точность изготовления и восстановления конструкторских и технологических баз.

На кинематическую точность волновой передачи с телами качения влияют допуски на следующие размеры: диаметр тел качения, диаметр диска волнообразователя и его эксцентриситет, диаметр отверстия сепаратора под тело качения, профиль зуба жесткого колеса и равномерное распределение зубьев жесткого колеса по окружности. Кроме того, необходимо учитывать эллипсность поверхности диска волнообразователя, отклонения формы тел качения, отклонение профиля жесткого колеса по периоду и т. д.

В данной работе используется модель одноступенчатой волновой передачи с телами качения с остановленным сепаратором, при этом ведущим звеном передачи является вал волнообразователя, ведомым – жесткое колесо. Жесткое колесо имеет 10 периодов, и, таким образом, передаточное число равно 10. Сепаратор имеет 9 отверстий под тела качения – шарики, но в целях сокращения времени машинного эксперимента используются 3 шарика, расположенные в 1-ом, 4-ом и 7-ом отверстиях сепаратора, т.е. расположенные равномерно по окружности сепаратора через  $120^\circ$ . Моделируется единственный вид технологической погрешности – отклонение диаметра диска волнообразователя от номинального значения на 0,08 мм в меньшую сторону.

Кроме того, в работе исследуется также вторая модель, отличающаяся от описанной выше тем, что оси отверстий сепаратора направлены в точку, смещенную

относительно центральной оси сепаратора, что соответствует ошибке установки заготовки сепаратора в шпиндель при изготовлении отверстий под тела качения.

Твердотельные модели передач с указанными характеристиками, созданные в *SolidWorks*, экспортированы в *MSC.Adams*, где звеньям передачи установлены следующие ограничения на степени свободы:

*Joint1* – волнообразователь, представляющий собой вал с закрепленным на нем с эксцентриситетом диском – только вращение относительно оси вала.

*Joint2* – жесткое колесо – только вращение относительно собственной оси, совпадающей с осью вращения вала волнообразователя (оси вращения узлов *Joint2* и *Joint1* совпадают).

*Joint3* – сепаратор – полностью зафиксирован.

*Joint4*, *Joint5*, *Joint6* – шарики, находящиеся в 1-ом, 4-ом и 7-ом отверстиях сепаратора соответственно – принято допущение, что каждый шарик имеет одну степень свободы, дающую возможность поступательного движения вдоль оси отверстия сепаратора, в котором он расположен (в 1-ой модели оси поступательного движения шариков направлены к центральной оси передачи, во 2-ой модели – в точку, смещенную относительно центральной оси).

В результате моделирования в программной среде *MSC.Adams* были получены следующие результаты.

Для первой модели кинематическая ошибка выходного звена (жесткого колеса) содержит статическую составляющую и следующие периодические составляющие:

1. низкочастотную составляющую, период которой равен периоду одного оборота жесткого колеса.
2. среднечастотную составляющую, период которой равен периоду одного оборота волнообразователя;
3. высокочастотную составляющую, частота которой равна произведению количества шариков на частоту среднечастотной составляющей.

Для второй модели кинематическая ошибка выходного звена имеет тот же характер, что и для первой, но не содержит третью (высокочастотную) из приведенных выше периодических составляющих.

Результаты моделирования, проведенного в данной работе, позволяют сделать вывод о перспективности предложенного подхода для определения влияния производственных погрешностей на кинематическую точность волновой передачи с телами качения.