

УДК 621.833.16

М.Ф. Пашкевич, д-р техн. наук, проф., О.Е. Печковская

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ И ВИБРОАКТИВНОСТЬ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ 2К-Н С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ЗУБЬЯМИ САТЕЛЛИТА

Рассмотрена возможность расширения кинематических возможностей планетарной эксцентриковой передачи путем модификации геометрии зацепления, предложена методика экспериментальных исследований кинематической точности передачи.

Известно, что наибольшее передаточное отношение планетарной эксцентриковой передачи может быть достигнуто в случае внутреннего эвольвентного зацепления колес с разницей чисел зубьев, равной единице [1]. Такое зацепление предопределяет значительное уменьшение габаритных размеров и материалоемкости передачи, а следовательно, делает ее компактной и высокотехнологичной. Однако такие передачи не получили широкого распространения в промышленности, несмотря на все очевидные достоинства. Вопрос уменьшения разности чисел зубьев и доведения ее до единицы с целью повышения передаточного отношения на протяжении многих лет ставился исследователями под сомнение.

Можно показать, что для размещения сателлита внутри центрального колеса его диаметры делительной окружности d_2 и окружности выступов d_{2a} необходимо выбирать из соотношений: $d_2 = m(Z_1 - 2)$, $d_{2a} = mZ_1$, где Z_1 – число зубьев колеса с внутренними зубьями; m – модуль зацепления [1]. При этом величина эксцентриситета e должна быть равной модулю зацепления $e = m$. В этом случае возможно внутреннее зубчатое зацепление с разницей чисел зубьев зацепляющихся колес, равной единице, и, следовательно, достижение предельного передаточного отношения, равного количеству зубьев сателлита $U = Z_2$. Однако при $Z_1 - Z_2 = 1$ необходимо учитывать интерференцию зубьев, имеющую место при близких значениях Z_1 и Z_2 , и профиль зубьев одного или обоих зацепляющихся колес необходимо модифицировать. Однако лучше всего проводить модификацию колес с наружными зубьями, т.е. модификацию сателлита.

Был рассчитан, спроектирован и изготовлен опытный образец планетарной модифицированной передачи для передаточного отношения $U = -100$. Передача предусматривала применение консистентной смазки (рис. 1).

Передача содержит ведущий вал 1, ведомый вал 2, установленные на ведущем валу эксцентрики 3, смещенные друг относительно друга на 180° . На эксцентриках размещены подшипники 4 для установки на них с возможностью свободного вращения сателлитов 5 и 6. Сателлиты введены в зацепление с центральным зубчатым колесом 7. Ведомый

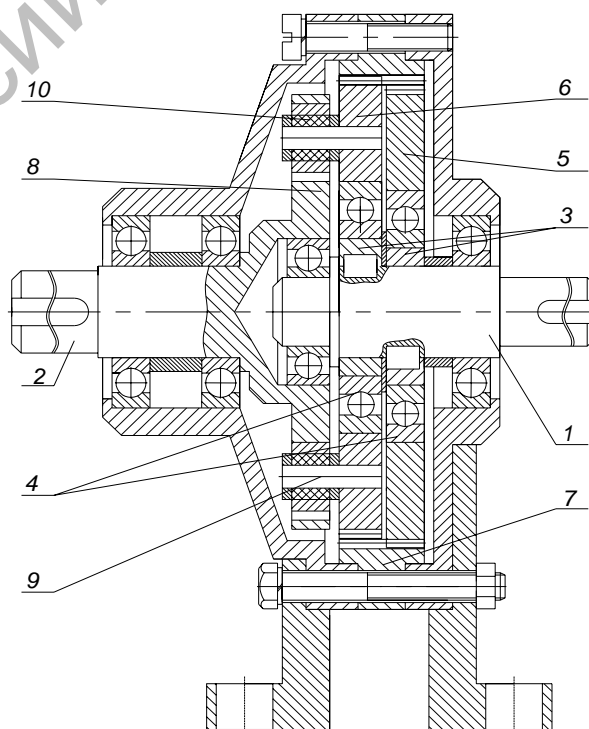


Рис. 1. Планетарная эксцентриковая передача ($U = -100$)

вал 2 снабжен фланцем 8 с отверстиями для размещения в них ведущих пальцев 9 с установленными на них свободно вращающимися антифрикционными втулками 10. Пальцы 9 неподвижно закреплены в сателлите 6 и при передаче вращения совместно с втулками 10 обкатываются по цилиндрическим поверхностям отверстий во фланце 8. Диаметр отверстий фланца выбирается по соотношению $D = d + 2e$, где d – диаметр втулки 10, e – эксцентриситет эксцентрика. Сателлиты 5 и 6 имеют числа зубьев на единицу меньше числа зубьев центрального колеса 7. При вращении ведущего вала 1 сателлиты 5 и 6 обкатываются по центральному колесу, совершая планетарное движение вокруг оси ведущего вала, и получают при этом вращение в противоположном относительно ведущего вала направлении. Пальцы 9 служат для передачи этого вращения сателлитов ведомому валу 2 при помощи фланца 8.

Для оценки технического уровня этой передачи были исследованы ее кинематическая точность и уровень вибраций. Исследования проводились при различных частотах вращения ведущего вала (685, 990 и 1480 мин⁻¹) и различных моментах на ведомом валу (11, 22, 33, 44 Н·м). Частоты вращения ведущего вала изменялись при помощи трехскоростного двигателя, а величины моментов устанавливались путем нагружения ведомого вала электромагнитным тормозом ПТ-16М.

Использовалась автоматизированная система испытаний механических передач, подробно описанная в [2].

При измерении кинематических погрешностей передач использовался стандартный преобразователь угловых перемещений ВЕ-178А, который соединялся с ведомым валом передачи и формировал 2500 импульсов за один оборот.

При измерении вибрационных параметров первичным преобразователем служил стандартный пьезоэлектрический преобразователь виброускорений типа Д13М, использующийся при измерении вибраций в измерителях шума и вибраций типа ИШВ. При проведении исследований этот преобразователь закрепляется на корпусе передачи перпендикулярно ее оси.

Изучение результатов экспериментальных исследований показало, что графики кинематической погрешности для всех условий работы передачи имеют примерно одинаковый вид. Они представляют собой один период синусоиды, на который наложены высокочастотные колебания. На амплитудно-частотном спектре кинематической погрешности выделяется первая гармоническая составляющая, как самая значимая. Эта амплитудно-частотная составляющая обусловлена радиальным биением выходного вала, которое после сборки передачи составляло более 0,1 мм. Уменьшение радиального биения не представляет трудностей и, несомненно, это приведет к уменьшению наибольшей величины кинематической погрешности передачи за счет существенного уменьшения амплитуды ее первой гармонической составляющей.

Для того чтобы оценить возможности исследуемой передачи по ее кинематической точности и плавности работы, мы прибегли к фильтрации первой гармоники кинематической погрешности и ее высокочастотных составляющих, соответствующих шуму регистрируемых сигналов. На рис. 2 приведены графики кинематической погрешности передачи, а также амплитудно-частотного спектра при частоте вращения ведущего вала 685 мин⁻¹ и отсутствии момента на ведомом валу, т.е. при $T_2 \approx 0$. На первом графике представлена функция кинематической погрешности передачи без фильтрации радиального биения и высокочастотного шума регистрируемых сигналов. На втором графике также представлена функция кинематической погрешности передачи, только после фильтрации радиального биения и высокочастотного шума. На третьем графике представлен дискретный амплитудно-частотный спектр кинематической погрешности после фильтрации. Судя по амплитудно-частотному спектру после фильтрации, наиболее значимой оказалась вторая гармоника, проявляющаяся дважды за один полный оборот ве-

домого вала. Ее амплитуда составляет 17 угловых минут, что соответствует размаху этой синусоиды в 34 угловые минуты. Если привести эту погрешность к среднему радиусу центрального колеса 50 мм, то получим ее значение, равное 0,01 мм. Это свидетельствует о весьма высокой кинематической точности передачи.

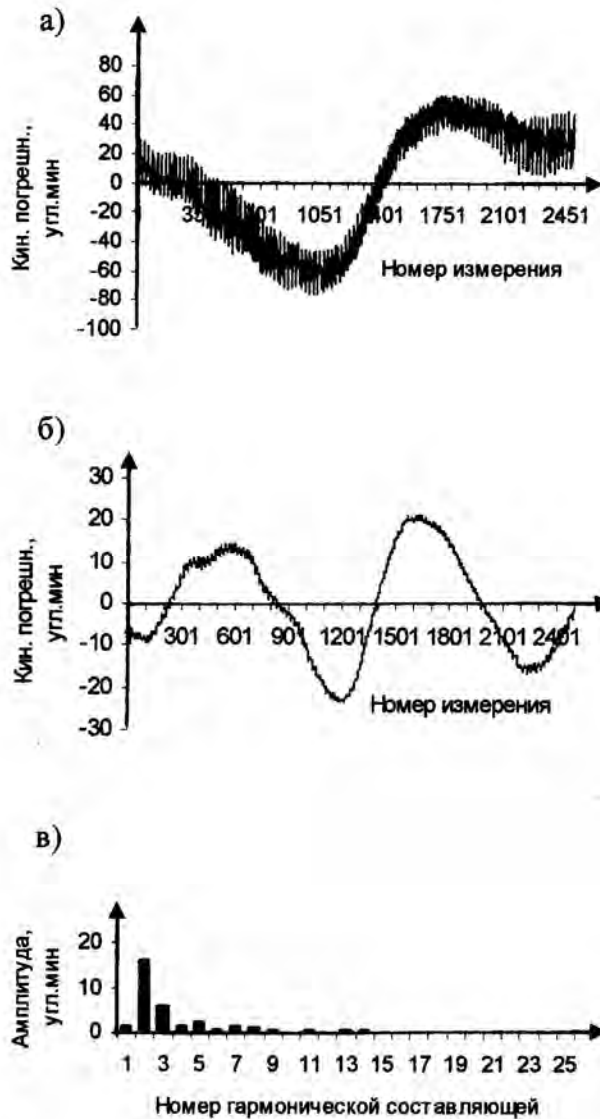


Рис. 2. Графики кинематической погрешности передачи: а – до фильтрации радиального биения и высокочастотных составляющих; б – после фильтрации; в - амплитудно-частотный спектр кинематической погрешности после фильтрации

Итак, вторая гармоническая составляющая характеризует овальность траектории движения оси ведомого вала, а третья, четвертая и пятая гармоники – соответствующие огранки этой траектории. В амплитудно-частотном спектре, если его построить из большого числа гармоник, например, 350...400, выделяются гармонические составляющие с частотами, равными и близкими числам зубьев сателлита и центрального колеса, а также составляющие с кратными им номерами. Это составляющие с номерами 98...104, 199...205, 299...305, образующие островки с амплитудами до 5, 3, 2 угловых минут, которые выделяются на фоне либо исчезающе малых, либо вовсе отсутствующих амплитуд. Наличие данных гармонических составляющих связано с неизбежно существующими по-

Из амплитудно-частотного спектра кинематической погрешности следует, что после второй гармоники имеет существенную величину лишь третья гармоническая составляющая – примерно 6 угловых минут. Четвертая и последующие гармонические составляющие уменьшаются и после пятой становятся исчезающе малыми. Таким образом, на этом основании можно также сделать вывод и о высокой плавности работы данной передачи.

Может возникнуть вопрос о корректности выводов о кинематической погрешности и плавности работы передачи на основе анализа графиков (рис. 2) после фильтрации. Дать положительный ответ на этот вопрос позволяет сравнение спектров кинематической погрешности передачи до фильтрации первой гармонической составляющей, после фильтрации этой гармоники и после фильтрации первой гармоники и шума. Это сравнение показано на рис. 3. Видно, что проведенная фильтрация не оказывает заметного влияния на оставшиеся амплитудно-частотные составляющие, следовательно, данный подход к анализу кинематической точности и плавности работы передач правомерен.

Итак, вторая гармоническая составляющая характеризует овальность траектории движения оси ведомого вала, а третья, четвертая и пятая гармоники – соответствующие огранки этой траектории. В амплитудно-частотном спектре, если его построить из большого числа гармоник, например, 350...400, выделяются гармонические составляющие с частотами, рав-

грешностями профилей зубьев зацепляющихся колес и следами формообразующих инструментов на рабочих поверхностях этих зубьев.

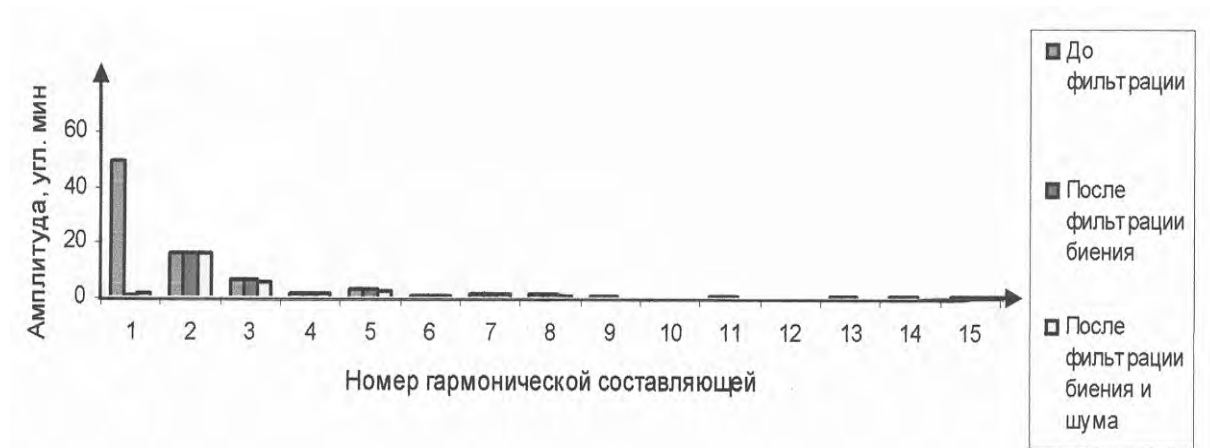


Рис. 3. Сравнение спектров кинематической погрешности передачи при $n = 685 \text{ мин}^{-1}$ при отсутствии нагрузки на ведомом валу

Исследовалась также виброактивность передачи при различных частотах вращения ведущего вала без нагрузки и при нагружении ведомого вала различными вращающимися моментами (рис. 4; $M = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и $M = 33 \text{ Н}\cdot\text{м}$).

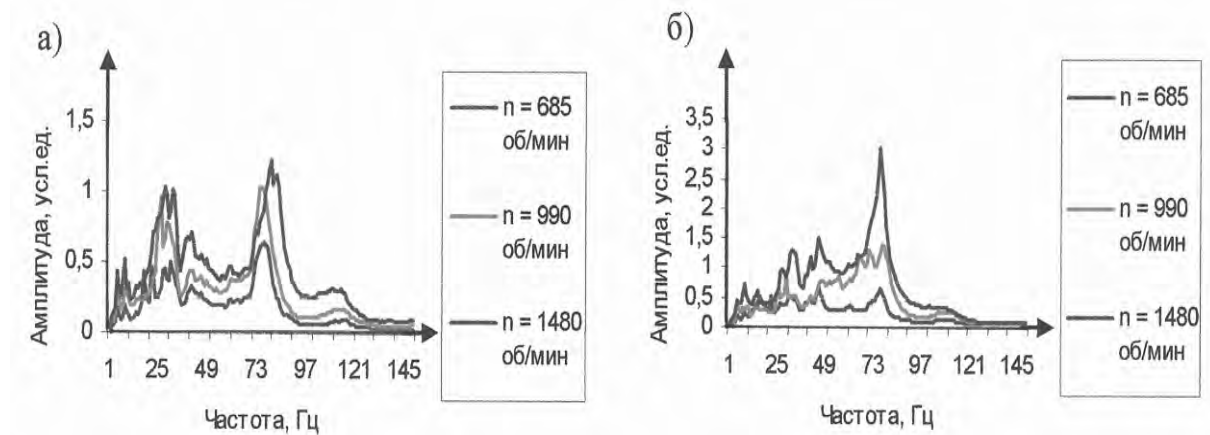


Рис. 4. Спектры виброускорений при различных частотах вращения ведущего вала: а – при $M = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$; б - при $M = 33 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Результаты исследования показали, что независимо от передаваемой нагрузки уровень виброускорений при увеличении частоты вращения ведущего вала повышается, и особенно заметно проявляются их гармонические составляющие с частотами в окрестностях 30 и 80 Гц. Особенно заметно повышение спектральной составляющей, соответствующей частоте 80 Гц, при возрастании нагрузки и частоты вращения ведущего вала. Было установлено, что уровень виброускорений исследуемой передачи существенно ниже соответствующего уровня для цилиндрической передачи, также составленной из двух зацепляющихся колес.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований модифицированной зубчатой передачи позволяют сделать заключение о том, что она обладает высокими кинематической точностью, плавностью работы, а также обладает низкой виброактивностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 5092 С1 РБ, МПК F 16 H1/28. Планетарная передача / А. М. Пашкевич [и др.]. - № 19981087 ; заявл. 30.11.98 ; опубл. 30.03.03, Бюл. № 46. - С. 18-20.
2. Пашкевич, М. Ф. Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2003. – 221 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 26.10.2005

M.F. Pashkevich, O.E. Pechkovskaya
Kinematic accuracy and vibroactivity
planetary gearing 2K-H with modified
satellite teeth
Belarusian-Russian university

Kinematic opportunities expansion of planetary eccentric gearing by the engagement geometry modification is considered, the technique of experimental investigation of gearing kinematic accuracy is offered.