

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ ГИПОИДНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ЕЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ

С. Л. Слепцов, В. М. Пашкевич, М. Н. Миронова

В статье рассмотрены вопросы анализа кинематической погрешности гипоидной передачи. Показана возможность обеспечения точности сборки гипоидной передачи на основе компьютерного анализа ее кинематической погрешности. Для реализации процедур анализа кинематической погрешности разработано программное обеспечение, отличающееся использованием эвристической процедуры для устранения эффекта Гиббса, выделением зубцовой составляющей кинематической погрешности и кромочного удара.

Ключевые слова: гипоидные передачи, кинематическая погрешность, компьютерный анализ.

Зубчатые передачи являются одними из наиболее распространенных элементов современных машин и приборов. Среди всего многообразия зубчатых передач важное место занимают конические и гипоидные.

Гипоидные зубчатые колеса отличаются назначением, формой, точностью и объемом выпуска, что создает определенные трудности при разработке технологических процессов и организации производства конических зубчатых колес, а также их сборки и эксплуатации.

Обеспечение качества гипоидных передач включает комплекс мер и, в том числе, правильный выбор оборудования в соответствии с необходимой точностью колес.

На этапе сборки необходимо обеспечить оптимальное взаимное расположение колес, при котором отсутствует погрешность шага зацепления. Наличие погрешности данного рода приводит к возникновению ударов при работе зубчатой пары. Удары, в свою очередь, способствуют возникновению таких дефектов как сколы, трещины и т. д. Наличие погрешностей и дефектов неизбежно приведет к снижению точности передаваемых усилий от ведущего к ведомому колесу, а также к существенному сокращению срока службы рассматриваемой передачи [1].

Используемый в настоящее время для контроля сборки метод нанесения краски отличается наглядностью, однако имеет во многом субъективный характер. Альтернативу этому методу мог бы составить метод выявления кромочных ударов при нарушении условий сборки на основе анализа кинематической погрешности передачи.

Для реализации процедур анализа кинематической погрешности на кафедре «Технология машиностроения» Белорусско-Российского университета разработана система InSpector. Система построена по принципу командного интерпретатора и используется для первичной обработки записей кинематической погрешности передач, а также других одномерных функций на основе применения ряда классических численных, а также эвристических методов [2].

Программное обеспечение отличается использованием эвристической процедуры для устранения эффекта Гиббса, прямого преобразования Фурье для выделения зубцовой составляющей кинематической погрешности, вычисления центрального момента 3-го порядка для выделения кромочного удара, а также дискретного преобразования сигнала с целью устранения влияния масштабного фактора на точность оценки удара [3].

Известно, что в том случае, если числа зубьев ведущего и ведомого звеньев не являются кратными, полный цикл пересопределенных зубьев происходит не за один оборот ведомого звена, в течение которого ведется запись кинематической погрешности. Это приводит к тому, что конечная точка записи 2 не совпадает с ее начальной точкой 1 (рисунки 1), так как эти точки соответствуют контакту различных пар зубьев, и к возникновению на концах функции разрывов, величина которых определяется

погрешностями формы профиля зубьев, накопленной погрешностью шага, динамическими явлениями в зацеплении и др.

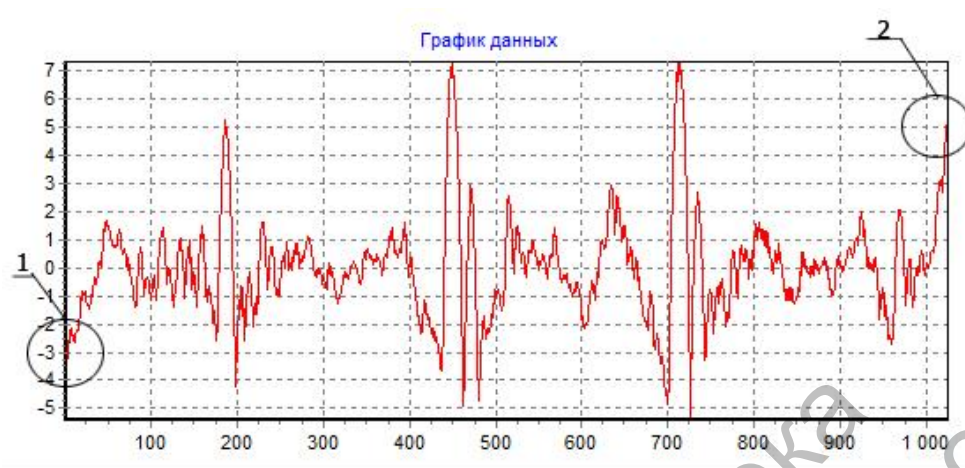


Рис. 1. Несовпадение начала и конца записи реальной кинематической погрешности и ее компенсация

В этой связи преобразование Фурье применяется к периодическому сигналу, который имеет разрывы в точках, являющихся концом предыдущего и началом последующего отрезка при периодическом продолжении функции x . Наличие разрывов ведет к появлению осцилляций в фурье-образе кинематической погрешности. Это явление, называемое явлением Гиббса, физически объясняется тем, что разрывы сигнала приводят к возникновению в его спектре высоких паразитных частот. Эти помехи можно частично подавить, применяя спектральные весовые функции. Подробное рассмотрение эффекта Гиббса и методе его устранения приводится в статье [2].

Устранить краевые эффекты можно с помощью следующей простой эвристической процедуры, которая реализована в команде `edge()` системе InSpector. Процедура исходит из предположения о том, что основная полезная информация содержится в средне- и высокочастотной областях спектра, которые характеризуют плавность и условия контакта передач. Поэтому основная тенденция изменения функции после устранения разрыва не изменится. Описанная процедура осуществляет поворот исходной функции вокруг ее центра таким образом, чтобы ординаты начальной и конечной точек совпали [4]:

$$y'_i = y_i + \frac{y_N - y_1}{2} - \frac{i}{N}(y_N - y_1), \quad (1)$$

где y'_i, y_i – исходное значение и значение функции с устраненным разрывом в i -й точке записи, y_N, y_1 – исходные значения функции в начальной и конечной точках записи.

В разработанной системе выделяется зубцовая составляющая. Зубцовые частоты характеризуют плавность работы передачи. В работе [5] показано, что зубцовая составляющая охватывает участки спектра кинематической погрешности в его средней и высокочастотной части. Низкочастотная часть характеризует накопленную погрешность шага передачи. Для фильтрации (устранения) из исходного сигнала полосы гармонических составляющих с номерами, например, от 1 до 10 (кратность основной частоте), в программе InSpector выполняется команда `filt(1; 10)`.

На графике зубцовой составляющей кинематической погрешности удар характеризуется резким скачком сигнала, носящим периодический (колебательный) характер. Для выделения ударов в автоматическом режиме предлагается оценить величину центрального момента n -го порядка, оценивающую отклонения сигнала от его среднего значения. Очевидно, что в местах возникновения удара значение центрального момента также резко увеличится.

Центральный момент n -ого порядка рассчитывается по формуле [6]

$$\mu_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|^n, \quad (2)$$

где x_i – i -ое значение переменной, \bar{x} – среднее значение данных, n – степень центрального момента, N – количество данных.

Вычисление центрального момента обеспечивает выделение удара, отсеивая остальные колебания. Установлено, что наибольшую чувствительность показывает центральный момент 3-го порядка.

Разработанная система по записи кинематической погрешности определяет характеристики кромочного удара. Для численного анализа кинематической погрешности рассчитывается приращение скорости во время удара, а также длительность ударных явлений. Скорость удара находится по формуле

$$\Delta V = \frac{\Delta F_{\text{кп}} m z}{2t_y}, \quad (3)$$

где $\Delta F_{\text{кп}}$ – значение кинематической погрешности, m – модуль передачи, z – число зубьев колеса, t_y – длительность удара (рисунк 2).

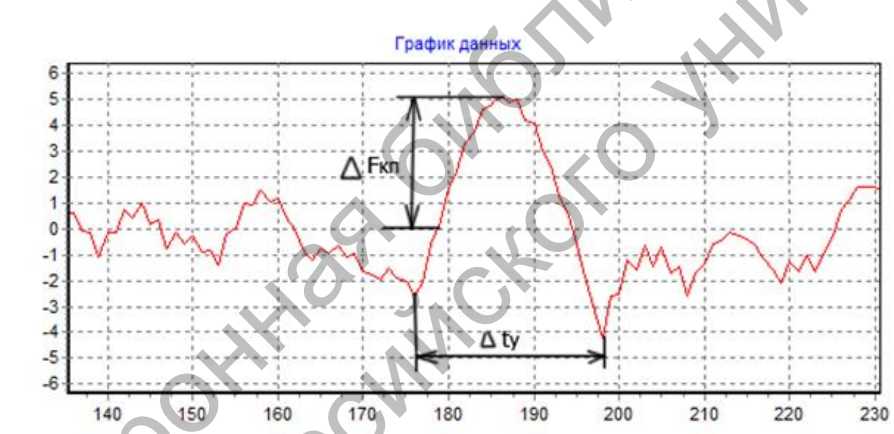


Рис. 2. Значения $\Delta F_{\text{кп}}$ и Δt_y

Длительность удара находится по формуле

$$t_y = n \Delta t_{\text{отсч}}, \quad (4)$$

где n – число отсчетов времени на графике; $\Delta t_{\text{отсч}}$ – значение временного интервала.

При этом $\Delta t_{\text{отсч}}$ находится по формуле

$$\Delta t_{\text{отсч}} = \frac{T_2}{1024}, \quad (5)$$

где T_2 – период отсчета; 1024 – количество отсчетов в записи кинематической погрешности за оборот ведомого вала.

Управление сборкой гипоидной передачи ведется на основе представленного ниже алгоритма (рисунк 3).

На первом этапе исследуемая передача устанавливается в крайнее положение, соответствующее наибольшему зазору. Затем производится запись кинематической погрешности. В качестве предварительной обработки производится устранение эффекта Гиббса, а затем выделение зубцовой составляющей кинематической погрешности.

Выявление ударов в работе гипоидной передачи производится при помощи программы Udar.xls, написанной на языке VBA в среде Microsoft Office Excel 2007.

Если величина удара превышает заданное пороговое значение, то исследуемое зубчатое колесо смещается на определенный шаг (0,1–0,8 мм). Далее процедура повторяется до тех пор, пока значение удара не будет ниже порогового значения или отсутствовать. В этом случае сборку гипоидной передачи можно считать оконченной.

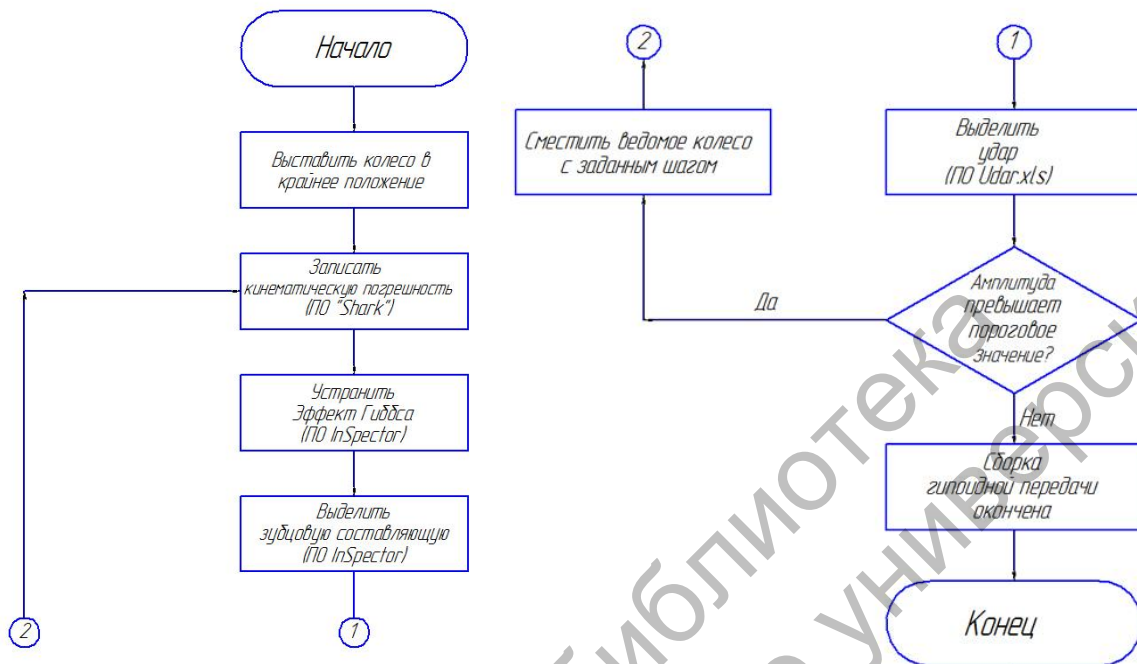


Рис. 3. Алгоритм управления сборкой гипоидной передачи

Таким образом, для обеспечения точности сборки гипоидной передачи предложено использовать автоматическую процедуру анализа кинематической погрешности передачи, позволившую отказаться от метода нанесения краски на боковые активные части зубьев, а также повысить достоверность и объективность оценки.

Литература

1. Хлебалин, Н.Ф. Нарезание конических зубчатых колёс / Н.Ф. Хлебалин. – Л., Машиностроение, 1978. – 160 с.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах / Ж. Макс. – пер. с франц. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – 312 с.
3. Пашкевич, В. М. Управление сборкой гипоидных передач на основе анализа их кинематической погрешности / В. М. Пашкевич, М. Н. Миронова, С. Л. Слепцов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 14–15 апр. 2016 г. / Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2016. – С. 41.
4. Пашкевич, В.М. Повышение точности механических передач на основе компьютерного моделирования и использования технологий искусственного интеллекта / В.М. Пашкевич, М.Ф Пашкевич, Д.А. Забелин. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т. – 2011. – 138 с.
5. Калашиников, Н.А. Исследование зубчатых передач / Н.А. Калашиников. – М.: Машгиз, 1941. – 462 с.
6. Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – 2-е изд. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

Слепцов Сергей Леонидович

Магистрант машиностроительного факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: +375(44) 701-99-35

E-mail: SSleptsov_93@mail.ru

Пашкевич Виктор Михайлович

Проректор по научной работе,
докт. техн. наук, доцент
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: +375(22) 225-09-05

E-mail: pvm@bk.ru

Миронова Марина Николаевна

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»
Белорусско-Российский университет, г. Могилев
Тел.: +375(29) 306-97-15

E-mail: MarinaMN16@mail.ru