

Н.Н. ИШИН, к.т.н., доц., заместитель директора НТЦ "Карьерная техника" Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, Минск;
А.М. ГОМАН, к.т.н., доц., начальник отдела Объединенного института машиностроения НАН Беларуси;
А.С. СКОРОХОДОВ, к.т.н., вед. научный сотрудник Объединенного института машиностроения НАН Беларуси;
С.А. ГАВРИЛОВ, ООО "Гормашсервис", Комсомольск

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СИНХРОННОГО НАКОПЛЕНИЯ ПРИ ВИБРОДИАГНОСТИКЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Изложен принцип выделения информационной составляющей вибрационного сигнала при диагностике технического состояния зубчатых передач мобильных машин. Описан алгоритм реализации метода синхронного накопления при обработке данных. Приведены результаты использования метода при вибродиагностике редукторов мотор-колес карьерных самосвалов БелАЗ.

Ключевые слова: зубчатая передача, вибродиагностика, синхронное накопление.

Введение. Актуальность задачи. Для зубчатых передач, представляющих собой механизм, предназначенный для преобразования вращательного движения, вибрационный сигнал, отражающий интенсивность их механических колебаний, содержит периодические компоненты, состоящие из гармоник, кратных частотам вращения валов и зубцовых частот, а также некоторую шумоподобную составляющую. Кроме того, в том же сигнале содержатся составляющие от резонансных частот возбуждения элементов передачи, а для мобильных машин еще и колебания, вызванные неровностями дорожного покрытия, переменными нагрузками в трансмиссии и т.д. В результате этого вибрации на корпусе редуктора, рассматривающиеся как диагностический сигнал, имеют плотный дискретный спектр, несущий информацию о всех динамических нагрузках, вызывающих опасные колебания различных элементов машины. И первоначальной целью вибродиагностики состояния зубчатых колес является выделение из общего сигнала тех составляющих, которые несут информацию о техническом состоянии объекта диагностирования.

Анализ литературы. Для выделения полезной составляющей сигнала в первую очередь решаются следующие задачи:

- улучшение соотношения сигнал/помеха для отсеивания колебаний подвески мобильной машины, шумоподобных составляющих и т.д.;
- отсеивание колебаний, вызванных другими элементами машины;
- разделение информации о колебаниях зубчатого привода в целом на составляющие, характеризующие его отдельные элементы.

Одним из методов вибродиагностики, позволяющим одновременно решать для зубчатых передач все три задачи, является синхронная гребенчатая фильтрация, строящаяся по принципу синхронного накопления [1, 2] и ориентированная на выделение характерных вынужденных периодических частотных составляющих гармонического ряда возбуждения диагностируемого узла на фоне собственных колебаний механизма и вынужденных колебаний от других узлов. При этом выделение составляющих гармонического ряда, связанных с кинематикой диагностируемого узла, способствует улучшению отношения сигнал/помеха.



Рисунок 1 – Доля исходного сигнала после усреднения [3]

Рисунок 1 – Доля исходного сигнала после усреднения [3]. Применимость метода синхронного накопления для диагностики зубчатых передач основывается на том, что скорости вращения зубчатых колес связаны кинематически, и каждую частоту возбуждения f_{mi} можно выразить через базисную частоту вращения одного из валов $f_{вр}$. Для зубчатой пары основные частоты возбуждения – это частота вращения валов и зубцовая частота $f_z = nz/60$, где n – частота вращения одного из валов, на котором расположено зубчатое колесо с числом зубьев z . Каждая из указанных частот является образующей для целого гармонического ряда $f_{mi} = m(a_i f_{вр})$, где $m = 1, 2, 3, \dots$ – числа натурального ряда, характеризующие кратность i -го фактора возбуждения; a_i – коэффициент пропорциональности i -го фактора ($i = 1, 2, 3, \dots$).

С другой стороны, суть метода синхронного накопления заключается в суммировании реализаций сигнала на периоде детерминированной составляющей процесса, и в данном случае в качестве такого периода принимается та же базисная частота вращения одного из валов. При этом амплитуда детерминированной составляющей A растет пропорционально числу слагаемых суммирования k , а ее энергия растет пропорционально k^2 , в то время как дисперсия суммы случайных (непериодических) компонент равна $k\sigma^2$ [2]. Отсюда, отношение сигнал/помеха на выходе синхронного накопителя равно $k(A^2/\sigma^2)$, что более чем в k раз превышает то же отношение на входе устройства (рисунок 1).

Материалы исследований. В практическом плане реализация метода синхронного накопления для зубчатого привода осуществляется следующим образом.

1. Записывается реализация вибрационного сигнала с частотой дискретизации достаточно большой для того, чтобы после применения преобразования Фурье получить необходимый гармонический ряд частот возбуждения, и длительностью, достаточной для обеспечения необходимого минимума выборок синхронного накопления для самого медленного вала зубчатого привода.

Параллельно записывается сигнал с датчика отметки оборотов, выдающего определенное количество импульсов за один оборот любого из валов (достаточно одного импульса за оборот, но большее их количество позволяет при низких скоростях машины учесть неравномерность вращения вала на периоде одного оборота).

2. Полученная реализация вибрационного сигнала разбивается на выборки, длительности которых равна периоду одного оборота диагностируемого вала механизма. Разбиение осуществляется либо непосредственно по показаниям датчика, либо период одного оборота вала определяется из кинематических соображений по передаточным числам.

3. В результате неравномерности скорости вращения валов, в общем случае количество дискретных составляющих вибрационного сигнала для каждой из полученных выборок будет различным. В то же время для осуществления операции поэлементного суммирования необходимо иметь одинаковое число дискретных составляющих в каждой выборке. К тому же, для последующего применения преобразования Фурье их должно быть кратным 2^n . Поэтому следующей операцией является приведение с помощью методов интерполяции массива данных каждой выборки к одинаковому числу элементов, кратному степени числа 2. Таким образом, вместо сигнала, являющегося функцией времени, получается сигнал, являющийся функцией угла поворота интересующего нас вала [4] (рисунок 2).

4. Последним этапом является поэлементное суммирование дискретных составляющих всех выборок и деление каждого элемента полученной суммарной выборки на число членов суммы, для получения усредненной выборки. Поскольку углы поворота, при которых значения полезного сигнала, синхронизованного с вращением вала (т.е. результаты взаимодействия зубьев расположенных на диагностируемом валу зубчатых колес), всегда находятся в одном и том же месте относительно начала выборки, суммирование амплитуд вибраций для каждого углового положения вала позволяет выделить их значения на фоне шума и несинхронных составляющих (рисунок 3) [5].

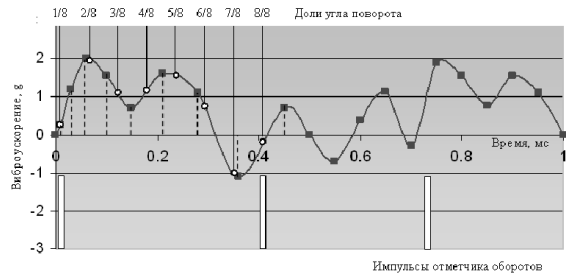


Рисунок 2 – Разбивка базового периода на доли угла оборота

Результаты исследований. Использование разработанного алгоритма при исследовании виброускорений рассмотрено на примере редукторов мотор-колес карьерного самосвала БелАЗ (рисунок 4). На обработанном сигнале (рисунок 4,б), полученном при синхронизации замера с вращением солнечной шестерни первого ряда РМК ($z=21$), хорошо просматриваются 21 периодическая составляющая, характеризующие колебания, вызванные переоснащением ее зубьев.

Затем к полученной усредненной выборке применяется преобразование Фурье, в результате чего получается гармонический спектр (рисунок 5).

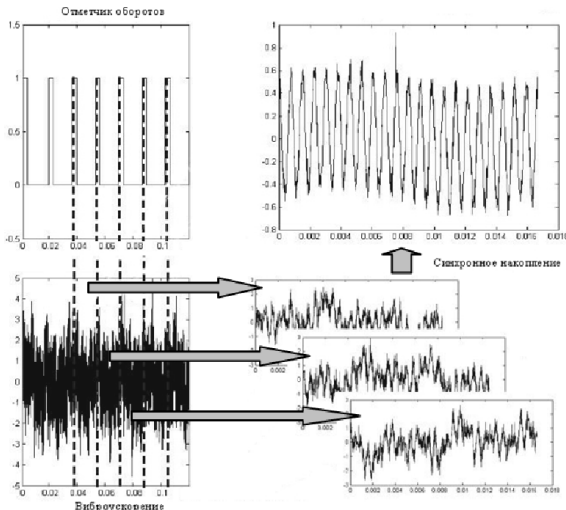


Рисунок 3 – Алгоритм реализации метода синхронного накопления [5]

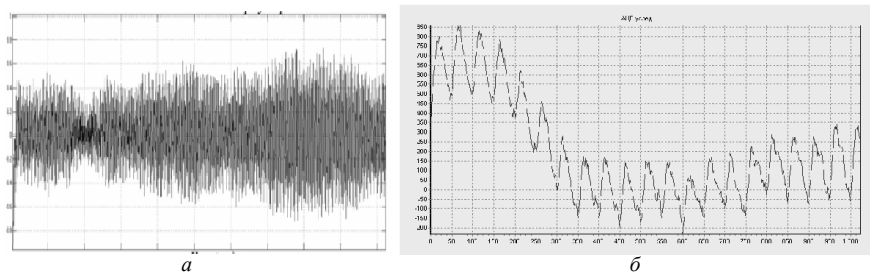


Рисунок 4 – Сигналограммы виброускорений РМК самосвала БелАЗ: а – необработанный сигнал; б – синхронное накопление для шестерни $z=21$

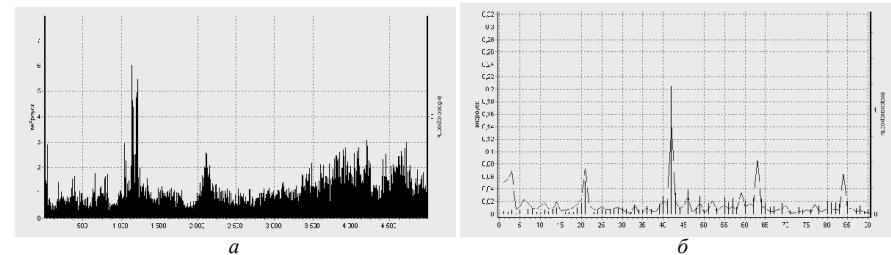


Рисунок 5 – Спектры виброускорений РМК самосвала БелАЗ: а – амплитудно-частотный; б – синхронное накопление для шестерни $z=21$

В данном спектре первая гармоника является амплитудой первой оборотной частоты рассматриваемого вала (вторая – второй и т.д.); амплитуда зубцовой частоты любого зубчатого колеса, сидящего на данном валу, будет равняться численному значению гармоники с номером, равным числу зубьев данного зубчатого колеса и т.п. В рассматриваемом случае легко различимы гармоники с номерами 21, 42, 63 и 84, являющиеся зубцовой и кратными ей частотами диагностируемой шестерни. По изменению амплитуд этих гармоник в течение эксплуатации можно судить о состоянии данной солнечной шестерни.

Выводы. Применение метода синхронного накопления при вибродиагностике зубчатых передач мобильных машин в условиях эксплуатации дает хорошие результаты, позволяя не только улучшить соотношение сигнал/помеха путем отсеивания колебаний самой машины на неровностях дорожного покрытия и других шумоподобных составляющих, но и отстроиться от колебаний, вызванных динамическими нагрузками в других элементах трансмиссии, а также разделить информацию о колебаниях зубчатого привода в целом на составляющие, характеризующие его отдельные элементы.

Список литературы: 1. ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 25с. 2. Вибрации в технике : справочник : в 6 т. / под ред. В.Н. Челомей. – М.: Машиностроение, 1978-1981. – Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / под ред. Ф.М.Диментберга, К.С.Колесникова. – 1980. – 544с. 3. Чагаев В.Н. Автоматизированные системы мониторинга технического состояния и работоспособности оборудования / Сервисное обслуживание в ЦБТИ: сборник трудов междунар. научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 19-20 ноября 2009 года / Под ред. проф. А.Н. Иванова. – СПб.: ГОУВПО СПб ГТУ РП, 2009. – С.36-41. 4. Разработать программное обеспечение системы вибромониторинга редуктора мотор-колес: отчет о НИР (промежуточный) / Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, рук. темы Н.Н. Ишин. – Мн., 2009. – 46с. 5. Vibration time Synchronous averaging [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.forums.ni.com/t5/LabVIEW/vibration-time-Synchronous-averaging/td-p/2106372.htm>.

Поступила (received) 29.01.2014

УДК 621.833.5

О.П. КАРПОВ, к.т.н., доцент каф. "ДВЗ і машинознавство" СНУ ім. В. Даля, Луганськ

ВПЛИВ АСИМЕТРИЧНОЇ ФУНКЦІ ПЕРЕДАТНОГО ВІДНОШЕННЯ НА КРУТИЛЬНІ КОЛИВАННЯ ВЕДЕНОГО ВАЛА ЗУБЧАТОЇ ПЕРЕДАЧІ

Проведено оцінку параметрів крутильних коливань веденого вала передачі некруткими зубчастими колесами з асиметричною функцією передатного відношення. Встановлено, що частота і період цих ко-

© О.П. Карпов, 2014