

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА-ХУАНГА ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВИБРОСИГНАЛОВ

Бранцевич П. Ю., Лапицкая Н. В., Леванцевич В. А.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: branc@bsuir.edu.by, lapan@bsuir.by, lvn@bsuir.by

Рассматривается метод обнаружения кратковременных возмущений, возникающих в вибросигналах, полученных при виброконтроле машин роторного типа, который основан на разложении исходного вибросигнала на периодическую и шумоподобную составляющие. Исследуется возможность применения преобразования Гильберта-Хуанга для детального анализа кратковременных возмущений вибросигналов.

ВВЕДЕНИЕ

Важными показателями в технической диагностики механизмов роторного типа, главный рабочий элемент которых осуществляет вращательное движение, являются интенсивность и спектральный состав вибрации [1]. С целью обнаружения самых незначительных изменений в вибрационных сигналах необходимо осуществлять непрерывный контроль вибрации узлов для решения задач проактивного технического обслуживания таких механизмов.

1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Анализ формы длинных реализаций вибрационных сигналов, отражающий интенсивность механических колебаний корпусных элементов механизмов роторного типа показал, что в большинстве случаев такие вибрационные сигналы содержат периодическую компоненту, и некоторую шумоподобную составляющую. При этом анализ шумоподобной составляющей на большом временном интервале позволяет выявить наличие кратковременных возмущений вибросигнала, которые плохо идентифицируются в спектре Фурье, но могут быть индикаторами зарождающихся дефектов [2]. Так при анализе вибросигнала с электродвигателя исследовательской установки (рис. 1, а) были выявлены кратковременные возмущения.

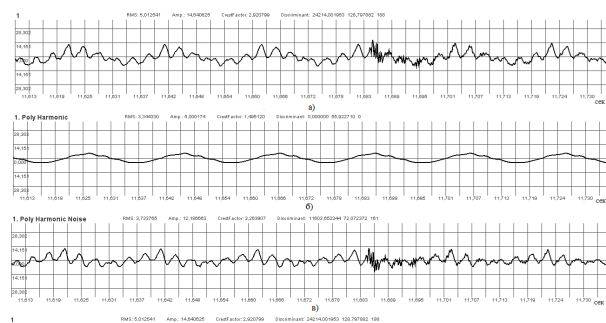


Рис. 1 – Разложение исходного сигнала (а) на периодическую (б) и шумоподобную (в) составляющие

Разложение вибросигнала на периодическую и шумоподобную составляющие (рис. 1, б, в) позволяет предварительно локализовать кратковременные возмущения [3]. Для повышения обнаруживающей способности возникающих возмущений и их более детального анализа, наиболее часто применяется вейвлет-преобразование шумоподобной составляющей [4]. На рис. 2 показан результат применения вейвлет-преобразования, к шумоподобной составляющей. В качестве преобразующего вейвлета был выбран вейвлет Морле (рис. 2, а).

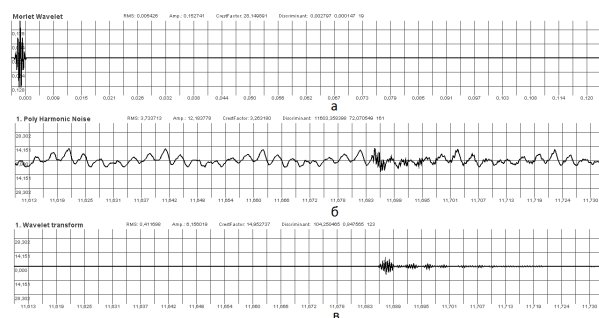


Рис. 2 – Результат преобразования (в) вейвлета Морле (а) и шумоподобной составляющей (б)

Как известно, основные сложности при использовании вейвлет-преобразования вызывает выбор типа базового вейвлета и центральной частоты его частотной характеристики [4].

II. РЕАЛИЗАЦИЯ

В качестве альтернативного способа локализации и анализа кратковременных возмущений к исходному шумоподобному сигналу было применено преобразование Гильберта - Хуанга, которое состоит из двух этапов: на первом этапе над сигналом выполняется эмпирическая модовая декомпозиция (ЭМД), в результате которой он разлагается на ряд компонент, которые называются эмпирическими модами (ЭМ), на втором этапе к полученному разложению применяется преобразование Гильберта [5]. Для реализации ЭМД на первом шаге необходимо опреде-

лить все максимальные и минимальные значения исследуемого вибросигнала $Y(t)$. На втором шаге по полученным минимальным и максимальным значениям строится верхняя и нижняя огибающие $Y_{max}(t)$ и $Y_{min}(t)$ исходного сигнала. При построения огибающей, на интервале между двумя экстремумами как правило, применяется интерполяция кубическими сплайнами. На третьем шаге вычисляется среднее значение огибающих по формуле:

$$m_1 = \frac{Y_{max} + Y_{min}}{2}$$

На четвертом шаге определяется первое приближение $h_{11}(t)$ к первой функции эмпирической моды $C_1(t)$:

$$h_1(t) = Y(t) - m_1(t)$$

Принимая вместо функции $Y(t)$ функцию $h_{11}(t)$ и повторяя шаги с первого по четвертый, находим второе приближение $h_{12}(t)$ к первой функции моды $C_1(t)$. Аналогичным способом находим и следующие приближения $h_{1k}(t)$ функции моды $C_1(t)$. Итерации продолжаются до тех пор, пока нормализованная квадратичная разность между двумя приближениями $h_{1k}(t)$ и $h_{1k-1}(t)$, не станет меньше некоторого предельного значения α :

$$\alpha \geq \sum_{t=0}^T \left(\frac{(h_{1k} - h_{1k-1})^2}{h_{1k-1}} \right)$$

Последнее значение $h_{1k}(t)$ представляет первую эмпирическую моду $C_1(t) = h_{1k}(t)$. Далее первая эмпирическая мода вычитается из исходного сигнала:

$$Y(t) - C_1(t) = r_1(t)$$

Для получения второй эмпирической моды $C_2(t)$ над остатком повторяются те же преобразования, что и для получения моды $C_1(t)$. Процесс получения n -го количества мод продолжается до тех пор, пока остаток $r_n(t)$ не станет монотонной функцией без экстремумов. Просуммировав полученные значения $C_i(t)$ и последний полученный остаток $r_n(t)$, который может быть трендом или постоянной составляющей сигнала, получим разложение $Y(t)$ в виде:

$$Y(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) + r_n$$

Процесс определения новых эмпирических мод может быть остановлен в следующих случаях: сумма модовых функций, полученная по выражению (1) отличается от исходного сигнала на величину, которая не превышает заранее установленного значения; остаточная функция становится монотонной функцией без экстремумов;

величина остатка незначительна в сравнении с исходным сигналом.

Результат разложения шумоподобного сигнала на нулевую и первую эмпирические моды приведен на рис.3.

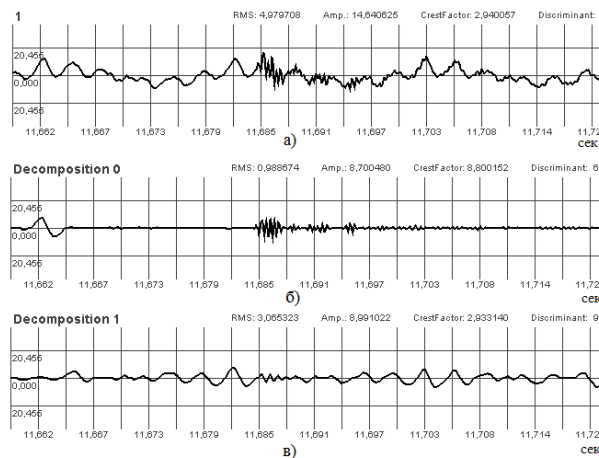


Рис. 3 – Результат разложения шумоподобного сигнала на эмпирические моды

Анализ нулевой моды (рис. 3, б) показывает, что её вид совпадает с результатом вейвлет-преобразования приведенного на рис. 2б.

III. ВЫВОДЫ

Преобразование Гильберта-Хуанга позволяет локализовать кратковременные возмущения вибрационных сигналов. В отличие от большинства классических подходов цифровой обработки сигналов, преобразование Гильберта-Хуанга не требует для своей реализации выбора функционального базиса разложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга Вибродиагностика / Ф.Я. Балицкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Бранцевич П.Ю. Особенности применения алгоритмов цифровой обработки сигналов в системах вибрационного мониторинга и диагностики / П.Ю. Бранцевич, Е.В. Базылев, Е.К. Кулаковская // Доклады БГУИР – 2017. – №2 – С. 32–39.
3. Бранцевич, П. Ю. Способ анализа вибрационных сигналов при исследовании технического состояния механизмов / П.Ю. Бранцевич // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012) : сб. ст. II международной заочной научно-технической конференции. Ч. 1 / По-волжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2012. – с. 244 – 250
4. Бранцевич, П.Ю. Применение вейвлетов при анализе вибрационного состояния механизмов и агрегатов / П.Ю. Бранцевич // Актуальные вопросы машиностроения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2014. – Вып.3. – с. 220-228.
5. Feldman, M. Hilbert Transformation Application in Mechanical Vibration // M. Feldman // A John Wiley and sons, Ltd Publication – 2011. – 292p.