# АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕХАНИЗМА, ОСНОВАННЫЙ НА ПРЕОБРАЗОВАНИИ ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА

Бондарева Т. О., Лапицкая Н. В.
Кафедра программного обеспечения информациооных технологий,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектороники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: tatyana.bondareva.2016@mail.ru, lapan@bsuir.by

*Исследуются методы выявления неисправностей в механизма. Приводится описание таких методов как спектральный анализ Фурье, Вейвлет-анализ и поднимается проблематика их ограничений. Исследуется новый метод выявления неисправностей в механизма, основанный на Гильбертовом преобразовании. Эффективность данного метода иллюстрируется путем сравнительной оценки результатов работы Вейвлет преобразования и Гильбертова преобразования.*

## Введение

Анализ вибрационных процессов, возникающих в промышленном оборудовании, позволяют достаточно полно отобразить техническое состояние многих деталей и характер протекания рабочего процесса. Поэтому вибрационная диагностика не только позволяет обнаруживать неисправности, но и выявлять их причины, например повышенные динамические нагрузки или переменные напряжения. Известно, что определение необходимых информативных параметров и характеристик вибрации является весьма сложной задачей, так как это связано с выбором соответствующих методов обработки механических колебаний, учитывающих их реальную структуру и свойства. Спектральный анализ – это метод обработки сигналов, который позволяет выявить частотный состав сигнала. Анализ спектрограмм виброускорения позволяет распознать повреждения на ранней стадии.

## Проблема выбора алгоритма спектрального анализа

Широко известными алгоритмами анализа вибрационных сигналов В настоящее время наиболее распространенными алгоритмами для обработки вибрационных сигналов различного происхождения являются методы спектрального анализа, основанные на дискретном преобразовании Фурье, или Вейвлет преобразование.

Преобразование Фурье дает мощный математический аппарат, позволяющий эффективно решить ряд практически важных задач. И, что наиболее важно, преобразование Фурье относится к категории физически обоснованных математических моделей, так как оно физически реализуется различными устройствами. Но существует огранечение данного преобразование: исследуемые данные должны быть стационарными.

Основная идея вейвлет преобразования заключается в том, чтобы для поиска локальной особенности использовать разложение по функциям, похожим на искомую особенность. Такой подход предполагает представление функции одной координаты в виде функции двух координат - пространственной и масштабной. Однако применение вейвлет-преобразования требует предварительного выбора типа вейвлета и центральной частоты его частотной характеристики.

С учетом недостатков рассмотренных выше алгоритмов было принято решение проведении исследований по применению модовой декомпозиции для анализа нестационарных сигналов.

## Гильбертово преобразование

Классический метод модовой декомпозиции основан на предположении, что любые данные состоят из различных режимов колебаний. Каждый режим, линейный или нелинейный, стационарный или нестационарный, представляет простое колебание, которое в определенной степени «симметрично» относительно локального среднего значения, а, следовательно, имеет экстремумы и нулевые пересечения.

Декомпозиция на модовые функции представляет собой итерационную процедуру.

Шаг 1. Определение всех экстремумов (максимумов и минимумов) исходного сигнала $Y(t)$.

Шаг 2. Построение верхней $Y_{max}(t)$ и нижней огибающий $Y_{min}(t)$ по полученным минимальным и максимальным значениям строится.

Шаг 3. Вычисление среднего значение огибающих по формуле:

$$m_1(t) = \left(\frac{Y_{min}(t) + Y_{max}(t)}{2}\right).$$

Шаг 4. Определение первого приближения $h_{11}$ к первой функции эмпирической моды сигнала $Y(t)$:

$$h_{11}(t) = Y(t) + m_1(t).$$

Принимая вместо функции $Y(t)$ функцию $h_{11}(t)$ и повторяя шаги с первого по четвертый, находим второе приближение к первой функции моды $h_{12}(t)$. Аналогичным образом находим и следующие приближения $h_{1k}(t)$ функции моды C1(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.

Последнее значение $h_{ik}(t)$ итераций принимается за первую, наиболее высокочастотную моду $C_1(t) = h_{ik}(t)$ семейства модовых функций, которая непосредственно входит в состав исходного сигнала $Y(t)$. Это позволяет вычесть $C_1(t)$ из состава сигнала и оставить в нем более низкочастотные составляющие:

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

Для получения второй эмпирической моды $C_2(t)$ над остатком $r_1(t)$ повторяются те же преобразования, что и для получения первой моды $C_1(k)$.

В результате разложения сигнала $Y(t)$ на модовые функции, он может быть представлен в виде:

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

## Анализ результатов Гилбертового преобразования

Для анализа работы Гилбертового преобразования проведем сравнение результатов его работы с результатами работы вейвлет-преобразования. С электродвигателя лабораторной установки были сняты показатели виброускорения. Полученный сигнал содержал кратковременные возмужения на некоторых участках. Рассмотрим один из таких участков в качестве исследуемого сигнала.

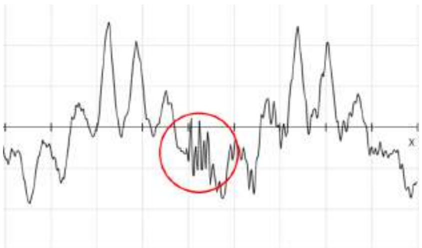

Рис. 1 – Вибросигнал с кратковременным возмущением

Произведем выполнение Вевлет преобразования исследуемого сигнала. Путем лабораторных испытаний были найдены метод и частота, для которых возможно выявления возмущений.

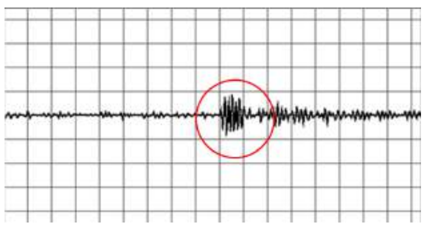

Рис. 2 – Вейвлет преобразование вибросигнала методом Gaus4p с частотой 2100

Выполним Гильбертово преобразование для исследуемого сигнала. Его результаты показали, что выявление возмущений можно получить уже при анализе первой модовой декомпозиции.

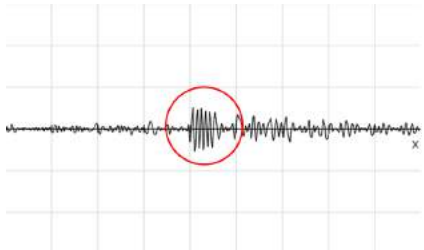

Рис. 3 – Первая мода вибросигнала

Основываясь на данных результатах можно сказать модовая декомпозиция и вейвлет-преобразования одинаково хорошо справляются с задачей нахождения возмущений.

## Заключение

Из анализа преимуществ и недостатков вейвлет-преобразования, кратковременного Фурье-спектрометра и Гильберт-Хуанг преобразования можно сделать представленные ниже выводы.

Преобразования Фурье ограничено по сравнению с преобразованием Вейвлета и преобразованием Гилберта-Хуанга при анализе нелинейных и неустановившихся сигналов. Вейвлет-преобразование было лучшим доступным анализом нелинейных данных перед введением Гильберта-Хуанга преобразования. Преобразование Гильберта-Хуанга имеет лучшие временные и частотные разрешающие способности, чем вейвлет-преобразовывание. Преобразование Гильберта-Хуанга оказывается новым революционным методом анализа нелинейных и неустановившихся данных сигнала.


1. Алексеев, С. П. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. / С. П. Алексеев, А. М. Казаков, Н. Н. Колотилов // М.: Машиностроение. 1970. – 208 с.

2. Кулаичев, А. П. Критика вейвлет анализа ээг / М. М. Медведев, Н. Н. Бурова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 12-1. – 2016. – С. 47–57.

3. Кан, Ш. Ч. Анализ нестационарных сигналов на основе преобразования Гильберта–Хуанга / Ш. Ч. Кан, А. В. Микулович, В. И. Микулович // Информатика. – 2010. – № 2. – С. 36–47.

4. The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-stationary timeseries analysis / N.E. Huang [et al.] // Proc. R. Soc. Lond. – 1998. – A454. – P. 903-–995