

## ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ИМПУЛЬСОВ

Марукян В.М., Фаерман В.А.

Томский политехнический университет  
faermanvlad@mail.ru

В настоящее время, техническая диагностика является одной из основных задач неразрушающего контроля [1]. В зависимости от типов обследуемых объектов находят применения различные методы контроля, такие как акусто-эмиссионный, электро-магнитный, оптоволоконный. Однако наиболее широкое распространение при решении задачи диагностики машин вращения получил вибрационный метод, в связи с его относительной простотой и доступностью оборудования [1, 2].

В основе вибрационной диагностики машин вращения лежит известная взаимосвязь между техническим состоянием устройства и производимыми им механическими колебаниями. Данная взаимосвязь находила применение для диагностики со времен эксплуатации первых машин. Однако, обследования устройств производились с целью выбора оптимальных конструкторских решений на этапе разработки машины и не имели широкого распространения, что объяснялось низкой точностью и большой трудоемкостью измерения вибрации, с использованием простейших оптических средств [2].

В последние десятилетия, благодаря появлению более совершенных и доступных датчиков колебаний и интенсивному развитию микропроцессорной техники, исследование вибрации стало значительно более простым и эффективным, что привело к расширению круга решаемых таким образом практических задач [3]. В настоящее время данный подход внесен в реестр методов неразрушающего контроля [1].

Стоит отметить, что в качестве основных информативных признаков сигнала вибрации при диагностике выступают его гармонические составляющие, определенные значения частот и амплитуд которых являются признаками дефектов [2]. Для выделения гармонических составляющих обычно применяется преобразование Фурье сигналов. Однако, вследствие того, что частотный интервал, в котором потенциально могут быть обнаружены признаки дефектов, достаточно широк, распознавание гармонических составляющих в смеси может представлять сложность при наличии интенсивных аддитивных шумов. Последнее накладывает ограничения на возможность эффективного решения задачи извлечения информативных признаков вибрации посредством спектрального анализа [4].

В некоторых случаях, информацию о наличии дефектов или о режимах работы машин могут нести периодические импульсы. Особенностью сигналов подобного рода является невозможность их исследования лишь методами спектрального анализа. Последнее обуславливается тем, что форма импульсных сигналов определяется комплексной огибающей спектра [5], в то время как период зависит от количества не нулевых частотных отсчетов [5]. Таким образом, основываясь лишь на частотной полосе, в которой сосредоточен спектр сигнала не представляется возможным определить периодичность его импульсов. На рисунке 1 представлен примерный вид огибающей амплитудного спектра периодического импульсного сигнала и соответствующая форма импульсов. Как отмечалось выше, вне зависимости от периодичности импульсов, огибающая не будет изменяться.

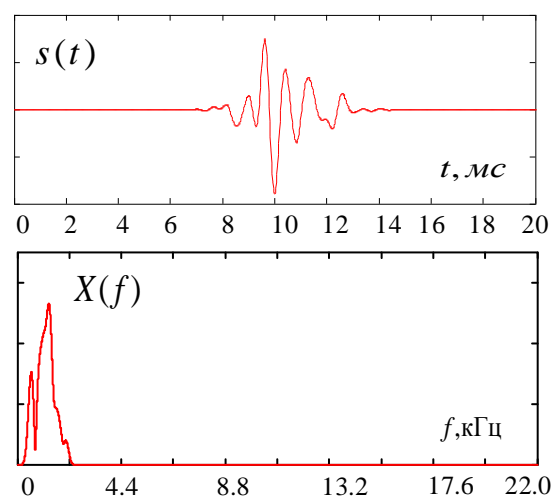


Рисунок 1 – Форма импульса (сверху) и огибающая амплитудного спектра (снизу)

Для анализа периодических импульсных сигналов различной, в том числе сложной формы, а также для выделения слабых гармонических составляющих находит применение корреляционный анализ [6].

В связи с тем, что одинаковые импульсы периодически повторяются, на коррелограмме появляются выраженные пики по положению которых может быть определена периодичность импульсов. Для этого достаточно измерить разницу во времени появления двух соседних пиков.

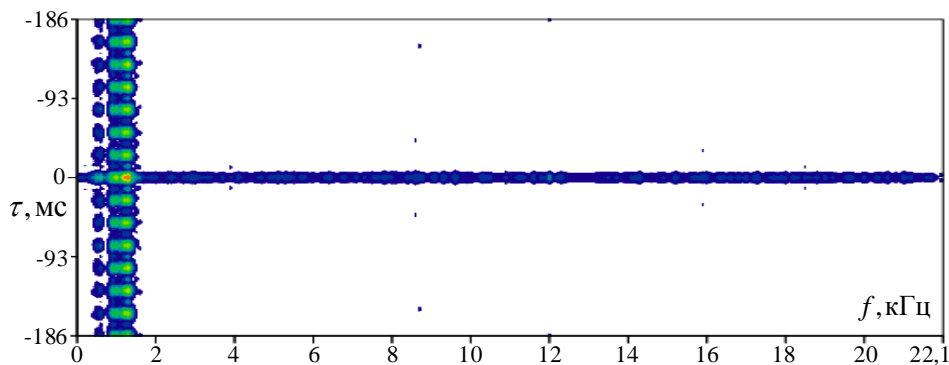


Рисунок 2 - График частотно-временной автокорреляционной функции периодического сигнала

Недостатком метода основанного на исследовании автокорреляционных функций сигналов является трудность получения информации о спектральных характеристиках сигнала. При этом данная проблема не всегда может быть решена путём одновременного непосредственного применения как спектрального, так и корреляционного методов [7]. Последнее обусловлено отсутствием очевидной связи между спектральной характеристикой и автокорреляционной функцией сигнала, в особенности если информативная составляющая является широкополосной, а в смеси присутствует интенсивный аддитивный шум.

В качестве решения может быть использован подход, основанный на применении математического аппарата частотно-временного корреляционного анализа. В качестве примера далее рассматривается исследование периодического импульсного сигнала, огибающая спектра которого приведена выше. Синтез сигналов производился в Mathcad в соответствии с [8]. Параметры исследуемого сигнала представлены в таблице.

Таблица. Параметры тестового сигнала

Параметр	Значение
Длительность импульса, мс	8
Период, мс	26,54 мс
Границы спектра, Гц	250..2250
Шум	Отсутствует

Графическое изображение частотно-временной автокорреляционной функции приведено на рисунке 2. Яркие цвета (зелёный, жёлтый, красный) соответствуют высоким значениям функции, белый цвет – низким.

Как отмечалось, по виду частотно-временной автокорреляционной функции сигнала, могут быть определены период следования импульсов и их частотные границы. В частности, для определения периода следования импульсов достаточно вычислить отношения длительности временного интервала на котором определена функция к количеству выраженных корреляционных пиков. Для рассматриваемого примера

$$T_{\text{имп}} = 372/14 = 26,57 \text{ мс.}$$

Точность оценки периода оказывается значительно более низкой в том случае, если число импульсов попадающих на рассматриваемый временной интервал не является целым. Однако путём увеличения ширины окна преобразования Фурье представляется возможным обеспечить достаточную точность оценки.

#### Список использованных источников

1. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пос. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
2. Петрухин В.В. Основы вибродиагностики и средств измерения вибрации: Учебн. пособие. / Петрухин В.В., Петрухин С.В. – М.: Изд-во Инфраинженерия, 2010 – 176 с.
3. Фаерман В.А. Структурные и функциональные особенности современных вибродатчиков / В.А. Фаерман, П.С. Степанцов, В.С. Аврамчук: Сб. трудов. XI межд. научно-практ. конференции «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск. – 2013. – С. 221-223.
4. Фаерман В.А., Аврамчук В.С. Общие принципы контроля машинного оборудования: сб. трудов XI межд. научно-практ. конференции «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск. - 2013. - С. 223-225.
5. Радиотехнические цепи и сигналы. Задачи и задания / учеб. для вузов / под ред. проф. А.Н. Яковлева. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 348 с.
6. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход: 2-е изд.: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
7. Аврамчук В.С., Казьмин В.П. Анализ сигналов вибрации двигателя внутреннего сгорания // Известия Томского политехнического университета. - 2013. – Т. 323. - № 5. – С. 69-73.
8. Марукян В.М., Фаерман В.А. Генерация периодических сигналов с заданной локализацией спектра в ППП Mathcad: сб. трудов XII всеросс. научно-практ. конференции. – Томск. – 2015. – 251 с