

УДК 621.317;004.04

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОРЕГРЕССИОННОГО МЕТОДА БЕРГА ДЛЯ АНАЛИЗА ВИБРОСИГНАЛА В СИСТЕМАХ БЕСКОНТАКТНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Зайцев Е.А.¹, Сидорчук В.Е.², Сидорчук И.В.³

¹ Институт электродинамики НАН Украины

Киев, Украина

² Киевский национальный торгово-экономический университет

Киев, Украина

³ Киевский национальный университет пищевых технологий

Киев, Украина

Современный уровень развития и совершенствования обрабатывающего оборудования на основе использования алмазов привел к появлению ряда материалов, позволяющих обрабатывать керамику, гранит, бетон, сталь, а также железобетон. Такая обработка неразрывно связана с появлением вибраций. Улучшение точности обработки и качества обрабатываемой поверхности связано с эффектом гашения вибраций. Поэтому, использование разных методов для анализа процессов, предшествующих появлению вибраций, позволяет реализовать способы их гашения или минимизировать к приемлемому уровню. Проводя подобный анализ периодических, можно, анализируя динамику изменений вибраций во времени, достаточно точно определить необходимый момент остановки оборудования для ремонта не дожидаясь выхода его со строя. Таким образом, по результатам спектральной оценки вибросигнала оборудования посредством дистанционной диагностики решаются одновременно несколько задач: оценка текущего состояния оборудования; анализ процессов, вызывающих вибрации; их устранение; прогноз остаточного рабочего ресурса на основе динамики изменения спектра вибросигнала.

Информационный вибросигнал с диагностируемого объекта в общем виде описывается выражением [1]:

$$f_n = f_n^{basic} + f_n^{cycle} + f_n^{noise} \quad (3)$$

где: f_n^{basic} – трендовая (постоянная) составляющая вибрационного процесса; f_n^{cycle} – периодическая (циклическая) составляющая вибрационного процесса; f_n^{noise} – шум; $n = 1, 2, \dots, i$ – целое число, i – длина выборки временного ряда вибрационного процесса.

В рассматриваемом случае компонента, входящая в формулу (1) и описываемая медленно изменяющимся трендом, мало информативна при обработке твердых материалов. Одной из наиболее характерных причин возникновения данной составляющей является суммирование мощности, соответствующей низкочастотному

шуму, который приобретает форму случайного, но медленно меняющегося тренда. Наилучшим способом удаления такого тренда служит применение фильтров. Также подобный квазиполиномиальный тренд можно удалить программным образом, например, на основе линейной регрессии методом наименьших квадратов (МНК) [2]. Для определения формы тренда и его частоты предлагается использовать метод тригонометрической интерполяции на основе МНК, который рассчитывает тригонометрическую аппроксимацию данных информационного числового ряда [3]. Поскольку любая периодическая последовательность может быть разложена в ряд Фурье, то коэффициенты перед синусами и косинусами принимаются за коэффициенты регрессии для оценки их величины. Зададим непрерывную функцию $\varphi(x)$ для аппроксимации дискретной зависимости $g(x_i)$, которая минимизирует функционал вида:

$$Q = \sum_{i=1}^n (\varphi(x) - g(x_i)) \rightarrow \min \quad (2)$$

В этом случае формула $\varphi(x)$ описывает кривую, которая повторяет график начальной экспериментальной последовательности, но сама не чувствительна к случайным отклонениям измеряемой величины, т.е. к шуму f_n^{noise} . Рассмотрим случай линейной аппроксимации выражения $\varphi(x)$:

$$\varphi(x) = c_0\varphi_0(x) + c_1\varphi_1(x) + \dots + c_m\varphi_m(x) \quad (3)$$

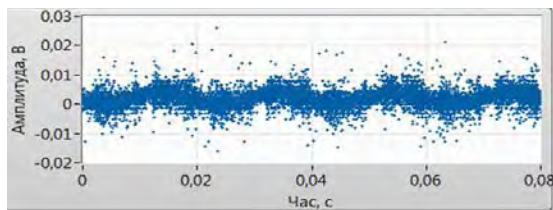
где: $\varphi_0(x), \dots, \varphi_m(x)$ – произвольные базисные функции; c_0, \dots, c_m – неизвестные коэффициенты регрессии; m – количество базисных функций, которое должно быть меньше количества заданных точек для того, чтоб их суперпозиция определялась одним единственным образом.

Для решения задачи линейной аппроксима-

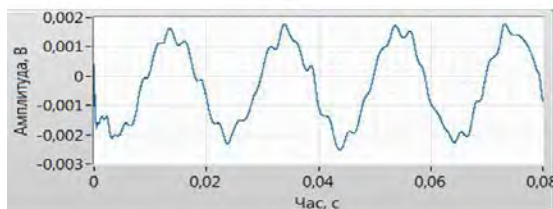
ции в общем случае находятся условия минимизации суммы квадратов отклонений для формулы (2) поиском корней системы уравнений при $\frac{\partial Q}{\partial c_k} = 0, k = 1, \dots, m$. После расчета соответствующих производных получаем систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (c_0 \varphi_0(x) + \dots + c_m \varphi_m(x) - g_i(x)) \varphi_0(x) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (c_0 \varphi_0(x) + \dots + c_m \varphi_m(x) - g_i(x)) \varphi_1(x) = 0 \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n (c_0 \varphi_0(x) + \dots + c_m \varphi_m(x) - g_i(x)) \varphi_m(x) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

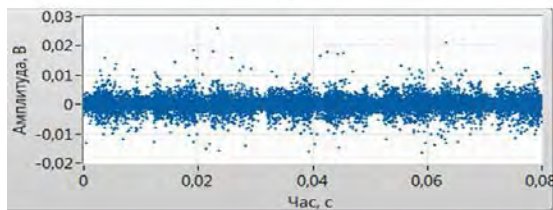
Решение полученной системы линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов C_0, \dots, C_m проводится с помощью метода МНК. В результате, на основе найденных коэффициентов C_0, \dots, C_m строится аппроксимирующая кривая, т.е. определяется трендовая составляющая вибрационного процесса.



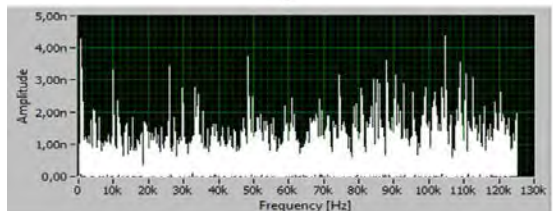
а



б



в



г

Рисунок 1 – Процесс анализа вибраций

После удаления полученной кривой из основного информационного сигнала получаем временной ряд, содержащий периодические компоненты и шум. Для анализа этих компонент предлагается использовать авторегрессионный (АР) анализ. Как показали исследования, проведенные в [4], наибольшим разрешением при анализе коротких вибросигналов обладает метод, основанный на АР модели Берга. Для анализа вибросигналов была разработана компьютерная программа на основе АР модели Берга с последующим выделением и компенсацией циклической составляющей вибрационного процесса.

Как известно, в методе Берга минимизируется арифметическое среднее мощности ошибок линейного предсказания “вперед” и “назад” (выборочная дисперсия ошибки предсказания):

$$\rho_p^{fb} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=p+1}^N |E_p^f[n]|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=p+1}^N |E_p^b[n]|^2 \right] \quad (5)$$

где E_p^f - ошибка линейного предсказания “вперед”; E_p^b - ошибка линейного предсказания «назад».

Расчет коэффициентов корреляционной матрицы АР метода Берга производится по формуле:

$$r_{x,x}[i,j] = \sum_{n=1}^{N-p} (x * [n+p-i]x[n+p-j] + x * [n+j]x[n+i]) \quad (6)$$

Теоретические положения предложенного метода были проверены при анализе диагностической информации, полученной при измерении вибрации системы шлифования алмазным кругом в холодном состоянии твердого вольфрамо-содержащего сплава ВК8. На приведенных рисунках показаны результаты анализа при холостом ходе системы шлифования (рисунок 1а – измеренный вибрационный процесс, рисунок 1б – выделенный трендовый процесс, рисунок 1в. – остаточная высокочастотная составляющая вибрационного процесса, рисунок 1г – вычисленный спектр).

Заключение: проведенное разделение позволяет провести более детальный анализ периодических и шумовых составляющих вибрационного процесса механической обработки твердых материалов.

1. Srbulov M. Ground Vibration Engineering: Simplified Analyses with Case Studies and Examples / Netherlands.: Springer – 2010. – 233 p.
2. Отнес Р., Энноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Прикладные методы // Пер. с англ. – М.: Мир. – 1982. – 429 с.
3. Попов Ю.В. О выделении периодической компоненты из временного ряда показателя

количества катастроф // Проблемы безопасности полетов. – №9. – 2008.

4. Зайцев С.О., Лисогор М.В. Застосування метода Берга для аналізу вібросигналів, отриманих за допомогою лазерних сенсорів // Електроніка і зв'язь: науково-технічний журнал. – 2014. – Т. 19. – № 6(83). – С. 66-72.

них за допомогою лазерних сенсорів // Електроніка і зв'язь: науково-технічний журнал. – 2014. – Т. 19. – № 6(83). – С. 66-72.

УДК 621.391.1(075.8)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ МНОГОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

Зайцева Е.Г.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Целью настоящей работы является анализ процессов записи и воспроизведения многомерных сигналов при их записи и воспроизведении, проведенный на примере преобразования оптических изображений.

Аналогичное исследование было произведено для киноизображений О.Ф. Гребениковым [1]. В данном случае рассматривался только процесс записи и воспроизведения с использованием светочувствительного материала, который в настоящее время почти полностью замещен преобразователями и носителями информации других типов.

Можно выделить три основных процесса, происходящих в системах записи и воспроизведения многомерных сигналов: преобразование сигнала, его хранение и передача, а также воспроизведение. Эти процессы имеют место в первичных преобразователях информации, носителях и устройствах воспроизведения.

В отдельных случаях, например, при обработке оптических сигналов, перед преобразованием сигнала в другую физическую величину происходит копирование сигнала, т.е. смещение его в пространстве. В данном случае эта операция осуществляется объективами. Теоретически возможно подвергать обработке и смещенные во времени сигналы. Поэтому в состав системы преобразования сигнала может входить дополнительный элемент, который будем называть «подсистема смещения». Объектив осуществляет функцию пространственной фильтрации, в других подсистемах смещения возможны иные виды преобразований. Наличие подсистемы смещения не всегда обязательно. Например, она может отсутствовать при анализе тепловых сигналов.

Многомерный сигнал в данном случае будем рассматривать как физический процесс, параметры которого изменяются в функции нескольких переменных. В технике сигнал чаще всего есть зависимость определенной физической величины, например, яркости, давления, магнитной индукции, напряженности электрического поля и т.д. от трех пространственных и одной временной координаты. В целях хранения и передачи многомерных сигналов, а также для

управления с их помощью сигналы чаще всего преобразуют в электрические, являющиеся функцией одной переменной (времени).

Преобразователи сигналов можно классифицировать по количеству элементарных преобразователей и по конструктивному принципу их формирования. Например, датчик Холла и фотодиод являются элементарными преобразователями, из них можно формировать линейки (одномерные преобразователи) и матрицы (двумерные). Элементарные преобразователи далее будем называть ноль-мерными. Теоретически возможно допустить существование и трехмерных преобразователей, но для этого в каждой группе преобразователей надо технически решить проблему экранирования сигнала соседними элементарными преобразователями.

С помощью двумерных матриц возможно записывать оптические сигналы видимого, ультрафиолетового, инфракрасного диапазона. Технически осуществимо создание двумерных матриц давления для звукового и других частотных диапазонов, матриц для измерения магнитного поля, электрических величин.

Способы преобразования зависят от сочетания числа измерений сигнала и мерности преобразователя.

Если преобразователь ноль-мерный, а сигнал одномерный, то преобразование производится при неподвижном преобразователе. Если сигнал имеет большее число измерений при ноль-мерном преобразователе, то необходимо производить механическое перемещение преобразователя в пространстве. Например, неподвижное черно-белое изображение является функцией трех пространственных координат. Тогда преобразователь, например, фотодиод, следует перемещать в трех пространственных направлениях. При этом имеет место пространственная дискретизация изображения по трем пространственным координатам, а также фильтрация по двум координатам, соответствующим плоскости светочувствительной поверхности фотодиода. Если черно-белое объемное изображение изменяется еще и во времени (четырёхмерный сигнал), то необходимо такое трехмерное перемещение пре-