

УДК 629.4

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ГЕЛЬДЕРА ДЛЯ ПОИСКА ТРАНЗИЕНТОВ В ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛАХ**

*Вивденко Ю.Г., к.т.н., доц., Махортова Н.В., маг., Поляченко Е.Ю., магистр  
Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, м. Луганськ  
91034 г. Луганск, рв. Молодежный, 20-А.  
E-mail: polyachenko@rambler.ru*

Для пошуку транз'єнтів (р'єзкі зм'єни у характері звуку) аналізуються безперервні вейвлетперетворювання віброакустичного сигналу, які застосовують для оцінки локального перетворення Гельдера

**Ключові слова:** транз'єнт, віброакустичний сигнал, вейвлет-перетворювання, локальний перетворювач Гельдера

In work for the search of transients (sharp changes in a sound behavior) the continuous vibroacoustic signal wavelet transform which are used at the estimation of local Holder exponent.

**Key-word:** Transients, vibroacoustic signal, wavelet transform, local Holder exponent

**Введение.** Использование бесконтактной диагностики состояния узлов подвижного состава во время движения получило применение в виде диагностического комплекса [1], который состоит из пирометра и сборки микрофонов, расположенных с двух сторон на одинаковом расстоянии от колеи и путевых датчиков. Пирометр предназначен для измерения температуры буксового узла, а сборка направленных микрофонов регистрирует виброакустический шум (виброакустический звуковой сигнал). Анализ виброакустического звукового сигнала позволяет определить неисправные буксовые узлы, а также характер их повреждения. Неисправность буксового узла регистрируется появлением транз'єнта (резкого изменения в характере звука) в звуковом виброакустическом сигнале [2].

**Анализ предыдущих исследований.** В настоящее время нашли применение различные методы поиска транз'єнтов, которые основаны на поисках «пиков энергии» звукового виброакустического сигнала. «Пиковая» энергия определяется как норма оконного преобразования Фурье. Недостаток метода связан с тем, что и помехи появляются в виде «пиковых» энергий.

Использование вейвлет-преобразований позволяет учесть структурные характеристики транз'єнтов, а именно, в качестве анализатора транз'єнтов выступает норма разности между соседними столбцами непрерывного вейвлет-преобразования виброакустического звукового сигнала. Однако, для исключения «ложного срабатывания», предполагается, что транз'єнтом считается кратковременный акустический сигнал, который на узком временном интервале обладает «плотным» разложением в базисе ортогональных вейвлетов.

Сложность практического применения этого метода состоит в том, что необходимо определять огромное количество коэффициентов, удовлетворяющих данному критерию [2].

**Цель работы.** Выявить факт резкого усложнения или упрощения структуры в начале и, соответственно, в конце транз'єнта. Индикатором сложности выступает локальный показатель Гельдера.

**Материалы и результаты исследований.**

Вейвлет-преобразование функции

$$f(x) \in L^2(\mathfrak{R})$$

при помощи вейвлета  $\mathcal{Y}(x)$  - это функция двух переменных, определяемая формулой

$$W_f(x, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) \overline{\mathcal{Y}\left(\frac{u-x}{s}\right)} du. \quad (1)$$

$W_f(x, s)$  представляет собой совокупность сверток данной функции с всевозможными разномасштабными версиями вейвлета. Переменная  $s$  выступает в роле масштабной переменной.

В Фурье-области вейвлет-преобразование при фиксированном значении коэффициента  $s$  примет вид:

$$W_{f^*}(x, s) = f^*(w) \mathcal{Y}^*(w). \quad (2)$$

Функция вейвлет-преобразование - обратима, т.е. функция  $f(x)$  - может быть восстановлена по формуле:

$$f(x) = \frac{1}{C_p} \times \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_f(u, s) \frac{1}{\sqrt{s}} \mathcal{Y}\left(\frac{x-u}{s}\right) du \frac{Ds}{s^2}. \quad (3)$$

Функцию  $|W_f(x, s)|^2$  будем называть скейтограммой.

В качестве вейвлетов применяются функции с хорошей локализацией и по переменной  $x$ , и по переменной  $W$ .

Функция

$$W_{s,u}(x) = \frac{1}{\sqrt{s}} \mathcal{Y}\left(\frac{x-u}{s}\right)$$

локализована в окрестности точки  $u$  на шкале масштабов.

Локальную регулярность функции определяют с помощью локального показателя Гельдера. Непрерывную кривую в плоскости  $(x, s)$ , которая соединяет максимумы модуля, называют линией максимумов.

Установим связь между убыванием максимума модуля вейвлет-преобразования и локальной регулярности функции (ее показателя Гельдера).

Вейвлет  $\mathcal{Y}(x)$  имеет  $n$  нулевых моментов и имеет  $n$  непрерывных быстроубывающих производных.

Если  $f(x) \in L^2(\mathfrak{R})$  удовлетворяет условию Гельдера с показателем  $a \leq n$  в точке  $x_0$ , тогда существует константа для которой выполняется следующее соотношение

$$\forall(x, s) \in \mathfrak{R} \times \mathfrak{R}^+, \quad |W_f(x, s)| \leq A s^{w+\frac{1}{2}} \left( 1 + \left| \frac{x-x_0}{s} \right|^w \right) \quad (4)$$

и соответственно наоборот, если  $a \leq n$  и существуют  $A$  и  $a' < a$ , то

$$\forall(x, s) \in \mathfrak{R} \times \mathfrak{R}^+, \quad |W_f(x, s)| \leq A s^{w+\frac{1}{2}} \left( 1 + \left| \frac{x-x_0}{s} \right|^w \right) \quad (5)$$

Следовательно, тогда  $f$  удовлетворяет условию Гельдера с показателем  $a$  в точке  $x_0$ .

Наклон графика модуля вейвлет-преобразования вдоль линии максимумов, выходящей из точки на оси  $x$  ( $s = 0$ ), где у функции имеется изолированная особенность гельдеровского типа с показателем  $H$ , равным

$$H + \frac{1}{2}.$$

Экспериментально было доказано, что при использовании вейвлета Морле для определенной функции в Фурье-области были получены транзиенты в зонах резкого изменения звукового виброакустического сигнала, а именно, в частотной области эта функция имеет вид обычного гауссиана, локализованного вблизи некоторого значения  $W_0$  во временной области, где модулирована комплексная гармоника с частотой  $W_0$ . Построение преобразованного информационного сигнала позволяет определить наклон графика скейлограммы. В начале отрезка транзиента (по критерию Гельдера) построенная прямая испытывает резкое падение, а в конце – локальный показатель Гельдера возвращается к среднему значению, которое имел до появления транзиента [2].

**Выводы.**

1. Из определения транзиентов следует, что в промежутке транзиентности вейвлет -коэффициенты заметно отличны от нуля на всем промежутке времени.
2. Исследуя поведение прямой наилучшего среднеквадратичного приближения скейлограммы виброакустического сигнала, можно достоверно определить промежутки появления транзиента.
3. Требуется уточнения математическая модель обнаружения транзиентов для различных моделей дефектов при виброакустической диагностике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махортова Н.В. Система для сбора и фиксации информации о состоянии буксовых узлов подвижного состава. //Вестник ВНУ им. Владимира Даля. – 2007, - №1(107).. – С. 280-283.
2. Локализация транзиентов в звуковых сигналах с помощью оценки локального показателя Гельдера. (электронный ресурс) // [www.keldysh.ru/paperes/2006/prep62/prep2006\\_62.html](http://www.keldysh.ru/paperes/2006/prep62/prep2006_62.html).

Стаття надійшла 30.09.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.ф.-м.н., проф.  
Слізаровим О.І.

